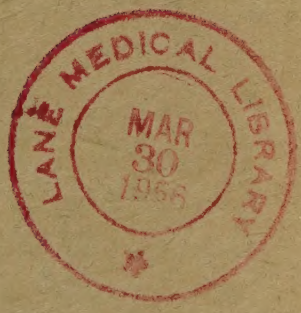
Leiden 1954 Lane

BEROEPS-HARDHORENDHEID

ALS BEDRIJFSGENEESKUNDIG PROBLEEM



H. A. VAN LEEUWEN

BEROEPSHARDHORENDHEID
ALS BEDRIJFSGENEESKUNDIG PROBLEEM

BEROEPSHARDHORENDHEID

ALS BEDRIJFSGENEESKUNDIG PROBLEEM

Proefschrift

TER VERKRIJGING VAN DE GRAAD VAN DOCTOR IN DE GENEESKUNDE AAN DE RIJKSUNIVERSITEIT TE LEIDEN, OP GEZAG VAN DE RECTOR MAGNIFICUS DR J. N. BAKHUIZEN VAN DEN BRINK, HOOGLERAAR IN DE FACULTEIT DER GODGELEERDHEID, TEGEN DE BEDENKINGEN VAN DE FACULTEIT DER GENEESKUNDE TE VERDEDIGEN OP WOENSDAG 16 FEBRUARI 1955 TE 14 UUR, DOOR

Hendrik Aart van Leeuwen

GEBOREN TE ROTTERDAM IN 1918

TE ASSEN BIJ

VAN GORCUM & COMP. N.V. - G. A. HAK & DR H. J. PRAKKE

PROMOTOR: PROF. DR H. A. E. VAN DISHOECK

AAN MIJN OUDERS

AAN MIJN VROUW

Dit onderzoek werd verricht in een aantal bedrijven aangesloten bij de Bedrijfsgeneeskundige Dienst te Dordrecht en in het acoustisch laboratorium van de Keel-, Neus- en Oorheelkundige Kliniek van de Rijksuniversiteit te Leiden.

Tevens werd zeer gewaardeerde medewerking ondervonden van de Commissie Gehoorbescherming van het Nederlands Instituut voor Praeventieve Geneeskunde te Leiden en de Afdelingen Gezondheidstechniek en Bewerking Waarnemingsuitkomsten van de Centrale Organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek (T.N.O.) te 's-Gravenhage.

INHOUD

INLEIDING 1

HOOFDSTUK 1 - ALGEMEEN HISTORISCH OVERZICHT 3

HOOFDSTUK 2 - KLINIEK VAN DE BEROEPSHARDHORENDHEID 6
Subjectieve verschijnselen 6
Objectieve afwijkingen 8
Differentiaal-diagnose 12
Presbyacusis 14
Prognose 18
Behandeling 19

HOOFDSTUK 3 - HET INDUSTRIELAWAAI 20
Geluidabsorptie 21
Geluidisolatie 22
Het meten van industrielawaai 23
Lawaaimetingen te Dordrecht 28

HOOFDSTUK 4 - EIGENSCHAPPEN EN FUNCTIE-ONDERZOEK VAN DE GEHOORZIN 38
Eigenschappen 38
Maskering 39
Functie-onderzoek 40
Audiometrie 42
Het continue audiogram 43
De nauwkeurigheid van de drempelbepaling 46
Luidheidonderzoek en spraakaudiometrie 48
Beschrijving apparatuur, methodiek en onderzoekruimte 50
Afdelingsaudiogrammen 56

HOOFDSTUK 5 - INVLOEDEN VAN LAWAAI VAN TIJDELIJKE AARD 62
Experimenten met octaafband-ruisen 64

HOOFDSTUK 6 - DE HINDER VAN DE BEROEPSHARDHORENDHEID VOOR DE GETROFFENE 69

HOOFDSTUK 7 - DE GRENS TUSSEN SCHADELIJKE EN ONSCHADELIJKE LAWAAINIVEAU'S IN DE INDUSTRIE 74
De criteria voor schadelijkheid en de bij eigen onderzoek verkregen gegevens 76

HOOFDSTUK 8 - PREVENTIE VAN GEHOORBESCHADIGING TENGEVOLGE VAN ARBEID IN LAWAAI 98
Lawaaibestrijding 98
Werkmethode vervangen 99
Veranderingen aanbrengen in werkmethode of machinerie . . . 99
Belemmeren van de verspreiding van het lawaai 101
Organisatorische maatregelen 104
Werktijdregeling 104
Gehooronderzoek bij indiensttreding 105
Gevoeligheidsproef 105
Regelmatige audiometrische contrôle 114
Vroege diagnose 115
Gehoorbeschermers 115
HOOFDSTUK 9 - BEROEPSHARDHORENDHEID EN SOCIALE WETGEVING . . . 121
SAMENVATTING 127
SUMMARY 130
GERAADPLEEGDE LITERATUUR 132

INLEIDING

Het is van oudsher bekend, dat arbeiders die in lawaai werken de kans lopen vroegtijdig doof te worden. Talrijke onderzoekers hebben dit gedurende de laatste honderd jaar, door speciaal hierop gericht onderzoek, bevestigd. Tegenwoordig weten we beter hoe we deze doofheid kunnen onderkennen van andere gehoorafwijkingen en hoe we haar vroegtijdig kunnen opsporen. Bovendien zijn er perspectieven geopend voor de bepaling van de aard van het geluid, waarbij beroepsdoofheid te verwachten is.

Vermindering van het lawaai in de industrie moet krachtig gepropageerd worden. Er kunnen organisatorische maatregelen worden voorgesteld om de gehoorschade zoveel mogelijk te beperken en men moet trachten personen, die voor deze beroepsaandoening bijzonder gevoelig zijn, op te sporen en andere arbeid te geven. Individuele prophylaxe kan worden toegepast door het verstrekken van gehoorbeschermers. Daarbij is inzicht nodig in de wijze, waarop in de bedrijven het verstaan van de spraak, het belangrijkste middel voor de communicatie, door deze beschermende maatregelen wordt beïnvloed.

Behalve voor de persoonlijke hygiëne heeft bestrijding der lawaaidoofheid ook een economisch belang, omdat in vele landen de bedrijven aangesproken kunnen worden voor schadeloosstelling van getroffen werknemers. Waar dit het geval is, moet de moderne audiologie helpen om de mate van invaliditeit te bepalen. De vraag of nog hulp van een hoorprothese te verwachten is komt hierbij tevens naar voren.

Voor het nemen van weloverwogen preventieve maatregelen tegen het ontstaan van beroepshardhorendheid zal men kennis moeten bezitten van al deze vraagstukken. Maar bovendien zal men lawaaimetingen zowel als gehooronderzoekingen moeten verrichten om de omvang van noodzakelijke voorzorgsmaatregelen te kunnen beoordelen. Het is immers nog niet mogelijk om sterkte en samenstelling van industrieel lawaai te voorspellen, wanneer men alleen weet, welke soort van werkzaamheden er worden verricht. Ook zijn voor de samenhang tussen de aard van het lawaai en de tengevolge daarvan te verwachten gehoorverliezen nog geen nauwkeurige regels te geven.

In het hierna volgende zal hetgeen in deze inleiding aan de orde werd gesteld nader worden uitgewerkt. Bij die onderwerpen, waar dit toepasselijk is, zullen de uitkomsten besproken worden van eigen onderzoekingen in een aantal bedrijven, aangesloten bij de Bedrijfsgeneeskundige Dienst te Dordrecht.

Hoofdstuk I

ALGEMEEN HISTORISCH OVERZICHT

Over de hinderlijkheid van lawaai en speciaal over de schadelijke werking van sterke geluiden op de gehoorscherpte is de literatuur reeds zo uitgebreid, dat het niet mogelijk is in kort bestek een volledig overzicht te geven. Hiervoor kan verwezen worden naar een uitvoerige bronnenstudie door Kryter, waar 629 titels vermeld zijn van tot 1950 verschenen publicaties. De voor het gehoortrauma belangrijkste volgen hieronder. Reeds in 1700 deed Ramazzini in zijn klassieke werk over beroepsaandoeningen mededeling over beroepsdoofheid. De wetenschappelijke belangstelling was echter niet groot, daar de industrie nog niet ontwikkeld was, zodat alleen de nog met primitieve middelen werkende ketelsmeden en andere metaalbewerkers aan het gevaar van lawaaibeschadiging bloot stonden.

Pas uit 1831 is weer een publicatie bekend over doofheid bij smeden. Dat deze mededeling uit die tijd stamt behoeft niet te verwonderen, daar bij de overgang van de achttiende naar de negentiende eeuw de aanvankelijk gebruikelijke huisindustrie en het kleine bedrijf tot grote industrieën uitgroeiden, met als tussenvorm gezamenlijke werkplaatsen, waarin elke arbeider een ander onderdeel van de fabricage verzorgde. Voor deze grotere gemeenschappen was het mogelijk de kostbare werktuigen aan te schaffen, die de zich ontwikkelende techniek voor de productieverbetering kon gaan aanbieden.

Daarbij werd, door de invoering van de stoommachine, de energie bij het productieproces geweldig vergroot. De toename van het vermogen ging gepaard met een toename van het lawaai. Het probleem werd nog groter, toen men andere aandrijving, zoals explosiemotoren, electromotoren en pneumatische revolvers ging gebruiken. Men zegt wel dat het aantal beroepsdoven in een bevolking evenredig is aan het aantal paardekrachten, dat ze in haar industrie gebruikt.

In de tweede helft van de negentiende eeuw neemt het aantal mededelingen over beroepsdoofheid dan ook toe en wel aanvankelijk vooral betreffende spoorwegpersoneel, omdat een goede hoorfunctie van belang is voor de veiligheid. Onderzoekers als Barr en Habermann hebben het gehoor van smeden en ketelsmeden nagegaan, terwijl Maljutin in 1895 voor het eerst de doofheid bij wevers beschreef. Een

Nederlandse publicatie uit die tijd, waarin de lawaaidoofheid ter sprake komt, is de dissertatie van Huijsman in 1884. Zwaardemaker ging de invloed van het beroep op ooraandoeningen na eveneens bij treinpersoneel.

In het begin van de twintigste eeuw verschenen de eerste experimentele studies. Von Wittmaack en Siebenmann deden histologische onderzoekingen aan het oor van proefdieren na blootstelling aan lawaai. Het aantal publicaties en congressen, gewijd aan de doofheid als beroepsaandoening bij lawaaiige arbeid, neemt daarna snel toe (Peyser, Westmacott, Caussé en vele anderen). In Rusland deden onder meer Sacher en vooral Temkin uitgebreide gehooronderzoekingen bij industriearbeiders. In Nederland verscheen een dissertatie van Van Waveren over kanonniersdoofheid. Reeds in 1921 bepleit Glibert het in leven roepen van een internationale commissie van doktoren, die in alle bedrijven toegang zou hebben om er het industrielawaai te bestuderen.

De invoering van de audiometer in ongeveer 1930 is zeer belangrijk geworden voor het inzicht in het klinische beeld van de beroepshardhorendheid. Pas toen werd door Bunch de samenhang gevonden tussen lawaai-expositie en gelocaliseerd gehoorverlies voor tonen met trillingsgetallen in de buurt van 3000 tot 6000 trillingen per seconde.

Het nu in snel tempo toenemende aantal publicaties over dit onderwerp kan men, met Larsen, indelen naar de methode, waarop men de oplossing van het probleem heeft benaderd:

1. Onderzoek van groepen personen, die allen een zelfde soort arbeid verrichten.

Sommigen deden dit zeer uitvoerig, anderen beperkten zich tot het oor of zelfs uitsluitend tot audiometrie. Vrijwel alle publicaties der laatste tijd behoren tot deze categorie, o.a. een Nederlandse over marinepersoneel van De Wit. Børge Larsen, Kristensen en anderen legden de nadruk op de eis, dat men voor een zuivere beoordeling van de lawaaischade alle personen met gehoorverliezen die door andere factoren, zoals oorontsteking, ongevallen en dergelijke, kunnen zijn ontstaan, moet uitsluiten bij het bewerken van de gegevens.

2. Selecties uit klinisch materiaal.

Dit vinden we bijvoorbeeld bij Bunch, Perlman en Russi. Perlman heeft hiervan gezegd: „When a group of employees in a noisy industry is examined, diagnosis is relatively simple, but when a large number of patients with mixed otolaryngologic signs and symptoms are cared for, the diagnosis is usually made by elimination".

Bunch deelde het materiaal in naar de arbeid, die door de patiënten werd verricht en gaf audiogrammen van ketelmakers, kanonniers, geweerschutters, telefonisten, machinisten, piloten en caissonarbeiders.

3. Experimenteel onderzoek naar de tijdelijke gehoordrempelveranderingen bij de mens als gevolg van kortdurende expositie aan lawaai.

Sommigen gebruikten het bestaande lawaai, zoals Dickson, Ewing & Littler en Campbell & Hargreaves voor vliegtuigbestuurders; Larsen, Chamberlain en Rosenblith voor metaalbewerkers; Russi voor wevers. Anderen gebruikten kunstmatig lawaai, zoals Ruedi & Furrer, Rawdon Smith, Davis c.s., Van Dishoeck en vele anderen.

4. De invloed van blootstellen aan zuivere tonen.

Deze werd o.a. onderzocht door Peyser, Perlman, Wilson, Davis c.s., Van Dishoeck & Van Gool en Theilgaard.

5. Histologisch onderzoek van het labyrinth bij lawaaidoven.

Hierover zijn publicaties van Crowe, Guild & Polvogt en Wever verschenen.

6. Dierproeven.

Proefdieren als caviae, muizen, katten, honden, konijnen of apen werden blootgesteld aan fluittonen, electrische bellen, knallen, enz., waarna de drempelwaarde opnieuw werd bepaald voor geconditionneerde reflexen, de gehoorschelp-reflex of de actiestromen van het labyrinth. Tevens werden daarbij de anatomische veranderingen van het gehoororgaan onderzocht. Vele van deze publicaties stammen uit de scholen van Von Wittmaack, de eerste die deze methode gebruikte, en van Siebenmann.

Bunch heeft een drietal bezwaren tegen deze dierproeven geformuleerd. Ten eerste kan de gehoordrempel bij dieren niet nauwkeurig worden bepaald, ten tweede is het moeilijk de dieren onder de abnormale omstandigheden van de proef lange tijd gezond te houden en ten derde is het niet bekend of de oren van mensen en dieren op dezelfde manier reageren.

In hun uitvoerige monografie over het acustische trauma schreven Ruedi & Furrer dan ook, dat de gegevens van de talrijke dierproeven niet uniform bewerkt kunnen worden. Zij hebben daarom opnieuw gedocumenteerde series proefnemingen gedaan met caviae als proefdieren.

Hoofdstuk II

KLINIEK VAN DE BEROEPSHARDHORENDHEID

Terwille van een snelle oriëntatie volgt thans eerst een beschrijving van de klinische verschijnselen van lawaaidoofheid. Enkele algemene begrippen over geluid en geluidmeting en over de hoorfunctie en het onderzoek daarvan worden in twee volgende hoofdstukken besproken.

De lawaaidoofheid is een zeer langzaam progressieve perceptiestoornis voor hoge tonen, meestal op de een of andere wijze begeleid door tinnitus. Het gehoorverlies neemt niet verder toe, als de expositie aan lawaai ophoudt en zelfs treedt, althans aanvankelijk, een zekere mate van herstel op. In weerwil van de uiteenlopende soorten lawaai en werkomstandigheden in de verschillende industrieën zijn de gehoorbeschadigingen in de regel van dezelfde soort, al mag er dan verschil zijn in de uitgebreidheid, de snelheid van ontstaan, enz. Ze zijn bij metaalbewerkers, wevers of mijnwerkers kwalitatief gelijk en kunnen daarom tot op zekere hoogte gemeenschappelijk beoordeeld worden (Larsen).

De subjectieve verschijnselen

Personen met een door lawaai geschonden gehoor zoeken zelden voor hun *doofheid* medische hulp. Ze berusten in de afneming van de gehoorscherpte als een ongemak, dat nu eenmaal onvermijdelijk en vanzelfsprekend samenhangt met het door hen gekozen beroep. De betekenis voor de betrokkene ten aanzien van het verstaan van spraak wordt in hoofdstuk 6 nader besproken.

Oorsuizen kan al vroeg in de ontwikkeling van een lawaaitrauma optreden. De betrokkene besteedt er echter soms zo weinig aandacht aan, dat men het pas bij nadrukkelijk vragen op het spoor komt. Het karakter van de tinnitus kan verschillend zijn en lijken op suizen, dreunen, fluiten, bellen, sissen, enz. Aanvankelijk treedt het alleen direct na het werk op en verdwijnt in de loop van de avond of de nacht; later blijft het voortdurend of verdwijnt alleen 's Zondags of in vacanties; tenslotte kan het steeds aanwezig zijn. De hinder, die er van ondervonden wordt, lijkt vooral afhankelijk van de psychische constellatie. Sacher meldt van 458 ketelmakers oorsuizen bij 37% in het eerste, bij 75% in het derde tiental dienstjaren. Larsen vond bij 123 arbeiders op een werf en machinefabriek 52% met deze klacht; 15% daarvan waren er nooit vrij van. Oor-

TABEL I

Anamnese bij beroepshardhorendheid

Naam, geboortedatum, (adres) (huisarts).
Bedrijf, loonnummer.
Fabrieksafdeling, beroep.

Datum van het onderzoek.

Oorzaken van doofheid:
Infectieus: roodvonk, encephalitis, lues, parotitis, typhus.
Andere ziekten: diabetes, arteriosclerose, nephritis, hartaand., struma.
Intoxicaties: salicyl, chinine, streptomycine.
Ongevallen: hoofdletsel, commotio cerebri.
Congenitaal: rubeola.
Erfelijk: familiaire doofheid, doofstomheid.

Ooraandoeningen: tonsillitis, chronische rhinitis.
otitis externa, cerumen.
otitis media, perforatie, otorrhoe, operatie.
oorsuizen, wanneer opgetreden?
karakter; suizen, fluiten, bellen, enz.
voorbijgaand of continu, synchroon met hartslag.
samenhang met gehoorverlies.
vertigo; aard, enz.
doofheid; (op school, bij keuring milit. dienst) wanneer? begonnen met oorsuizen? voorbijgaand of continu?
wanneer de meeste last? (kerk, vergadering, visite, gewoon gesprek) „Zet U de radio luider dan de familie wil?"
paracusis Willisii.

Lawaai: in en buiten de arbeid (explosies, milit. dienst).
Beschrijving van het lawaai:
sterkte: gewone spraak op 1 meter te verstaan.
schreeuwen nodig voor verstaan op 1 meter.
schreeuwen alleen a.c. te verstaan.
schreeuwen a.c. niet te verstaan.
pijnlijk, onverdraaglijk.
aard: vnl. laag van toon, zoemend, blazend, fluitend, piepend, snerpend hoog van toon.
gelijkmatig of geïntermitteerd: slaand, stotend, kloppend, trommelend, bonzend, staccato.
continu of in vlagen (expositieduur per dag of per week), explosief (hoe vaak?).
leeftijdperioden met en zonder lawaai.

Lawaai-invloed: bemoeilijkte communicatie, bemoeilijking van het waarnemen van machine-geluiden.
Psychische nadelen: depressie, irritatie, verlies van aandachtsconcentratie.

suizen wijst volgens de laatste schrijver altijd op een ooraandoening. *Oorpijn* treedt op wanneer het lawaainiveau zeer hoog is, namelijk hoger dan 120 dB. Pijnlijk zijn ook trommelvlieslaesies door explosies

en directe oortraumata. Verder ondervindt een oor, dat niet aan lawaai gewend is, na de expositie een gevoel van doffe druk. Afgezien van deze gevallen is oorpijn niet kenmerkend voor beroepshardhorendheid.

Over het voorkomen van *duizeligheid* bij lawaai-expositie lopen de meningen uiteen. Temkin wijst er op, dat geluid voor het vestibulum niet de adaequate prikkel is. Hij vindt spontane vestibulaire afwijkingen zelden en dan hoofdzakelijk bij arbeiders, die ook aan trillingen blootstaan. Wel zou het vestibulair apparaat prikkelbaarder zijn dan normaal. Habermann en Orembowski hebben respectievelijk bij 16 van 107 en bij 20 van 109 ketelmakers evenwichtsstoornissen geconstateerd; Siirala & Lahikainen bij 13% van 303 werfarbeiders. Andere onderzoekers van grote groepen lawaaidoven vermeldden slechts af en toe een geval (Sacher, Larsen, Kristensen). Ook bij de door ons onderzochten werd geen spontane nystagmus of duizeligheid gevonden. Bij microscopisch onderzoek van het vestibulair apparaat van dieren en mensen, die aan lawaai blootgesteld waren geweest, zijn nooit afwijkingen aangetoond.

De toonhoogte-gewaarwording is bij lawaaidoofheid gestoord. Het zal in het algemeen slechts dan tot lasten aanleiding geven, wanneer de aandoening eenzijdig is (*diplacusis*).

Siirala & Lahikainen beschrijven het voorkomen van andere symptomen als *slapeloosheid*, *hoofdpijn* en *nervositeit*, maar de door hen opgegeven hoge percentages (resp. 11%, 19% en 33%) worden noch door andere schrijvers noch door ons eigen onderzoek bevestigd.

De objectieve afwijkingen

Het *trommelvlies* van personen, die alleen aan lawaai blootgesteld geweest zijn, vertoont geen bijzondere kenmerken, ook niet bij ernstig gehoorverlies.

Het *fluisterspraakonderzoek* brengt bij een discantdoofheid zoals de beroepshardhorendheid zeer spoedig afwijkingen aan het licht. Bij deze methode zijn voor de onderscheiding van de prikkelwoorden de hoge tonen van overwegend belang. Bij het verstaan van de *gewone spraak* treden geen moeilijkheden op zolang het horen van frequenties lager dan 1500 à 2000 Hz niet meer dan 10 dB gestoord is. Daardoor is de verhouding tussen de afstand, waarop de fluisterspraak en die, waarop de gewone spraak gehoord wordt, abnormaal klein. Deze verhouding, de index vocalis, is volgens onderzoekingen van Hiddema voor normalen ongeveer 1 : 3.

Het onderzoek met de gebruikelijke *stemvorken* van $c_1 = 256$ Hz of $c_2 = 512$ Hz geeft slechts bij een klein percentage van lawaai-arbeiders afwijkende waarden. Larsen vindt bij 123 ketelmakers 17 oren met meer dan 50% verkorting, 20 oren met 30–50% verkorting; Kristensen vindt bij 81 wevers 59 oren abnormaal, waarvan slechts twee met meer dan 50% verkorting. Beiden gebruikten een stemvork van 440 Hz.

Gebruikt men stemvorken met hogere trillingsgetallen dan blijken c_4 en vooral c_5 veel vaker afwijkingen aan het licht te brengen dan c_1 of c_2. Dit werd het eerst gevonden door Jaehne in 1911 en vooral bevestigd door de massale onderzoekingen van Sacher en Temkin. Ook Russi wees er op, dat men op deze wijze de lawaaidoofheid op het spoor kan komen.

Het bepalen van onder- en bovengrens met stemvorken en het monochord van Struycken is door het audiometrisch onderzoek overbodig geworden.

De door lawaai veroorzaakte verminking van de hoorfunctie heeft in het *toondrempelaudiogram* een karakteristiek kenmerk, namelijk een gelocaliseerd gehoorverlies (*dip*) met het maximum in het gebied tussen 3000 en 6000 Hz. In het beginstadium strekt het gehoorverlies zich niet verder uit dan over 1½ à 2 octaven en is het niet groter dan 20-70 dB. Met de „klassieke" methoden van onderzoek, zoals de fluisterspraak, het horloge of de gebruikelijke stemvorken, zal men deze dip niet constateren.

Bij voortgezette expositie wordt de dip breder en dieper en omvat dus ongeveer drie octaven met een diepte, die varieert van 45-85 dB. Hoewel met conversatiespraak nog geen afwijkingen opvallen, wordt de fluisterspraak pas op 1 meter afstand verstaan.

Tenslotte ontstaat de typische perceptiedoofheid, namelijk een voor de hogere tonen snel toenemend gehoorverlies, zodat de dip niet of nauwelijks terug te vinden is. Wanneer ook voor 1500 à 2000 Hz drempelveranderingen van 15 dB of meer optreden, beginnen de getroffenen stoornissen in het verstaan van de gewone spraak te merken. Voor tonen lager dan 500 Hz kan, zij het zelden, bij arbeiders, die vele jaren lang in lawaai hebben gewerkt, gehoorverlies optreden. Het is echter nooit zo groot als voor de hoge tonen. Het grootste verlies ligt bij de middelhoge frequenties van 3000 à 6000 Hz, terwijl het voor de hoogste tonen bij 8000 à 10 000 Hz weer wat kleiner is.

Het acustische trauma vertoont volgens onderzoekingen van De Bruïne-Altes altijd het symptoom van regressie, d.w.z. dat tonen met een sterkte, die juist boven de gehoordrempel van het beschadigde oor ligt, het grootste verschil in luidheidsensatie geven ten opzichte van normaal. Bij toenemende sterkte neemt dit verschil af, zodat sterke tonen even luid of bijna even luid klinken als normaal.

Bij experimentele tijdelijke gehoordrempelveranderingen door lawaai werden steeds toonhoogte-afwijkingen gevonden. Een toon van een bepaalde frequentie wordt aan het getroffen oor met een van het normale afwijkende toonhoogte waargenomen en wel, volgens Ruedi & Furrer, hoger dan normaal, wanneer de toon lager is dan 4000 Hz en lager dan normaal, wanneer de toon hoger is. Door de dubbelzijdigheid van beroepshardhorendheid is het moeilijk daarbij over dit verschijnsel een oordeel te vormen. Het is echter wel zeker dat het karakter van de toon verandert, hetgeen dikwijls het onderzoek der regressie bemoeilijkt. De

onderzochte, die luidheden moet vergelijken, wordt in verwarring gebracht door het verschil in toonhoogte of klankgewaarwording der beide oren. Dikwijls wordt dan met het slechtere oor de toon „scherper" gehoord en de onderzoeker kan niet tot een juist oordeel komen of hiermede „luider", „hoger" of „onzuiverder" wordt bedoeld.

De grootte van het blijvende gehoorverlies bij lawaai-arbeiders hangt onder andere af van de volgende factoren:

1. De totale expositie-tijd.

Bij het stijgen van het aantal dienstjaren in lawaaiig werk neemt de hardhorendheid toe (Gardner, Siirala & Lahikainen). Dit is echter voor een zeer belangrijk deel een gevolg van het optreden van de normale ouderdomsdoofheid, zoals later nog ter sprake zal komen. Het acustische trauma ontwikkelt zich vooral bij intensief lawaai het sterkst in de eerste maanden van de expositie.

2. De duur van de expositie per keer.

Hoe langer het lawaai inwerkt, hoe groter gehoorverlies men kan verwachten. De drempelveranderingen zijn in het begin van de expositie het grootst en nemen daarna langzaam toe.

3. De duur van de rustperioden tussen elke expositie.

In het begin is de drempelverandering reversibel en kan door rust, vacanties of werkpauzen verdwijnen. Hoe groter het gehoorverlies, hoe langer rust nodig is voor het herstel. Men stelt zich voor dat blijvende gehoorschade bij de beroepshardhorendheid optreedt, wanneer het oor telkens opnieuw belast wordt, voordat de vermoeidheid van een vorige expositie geheel hersteld is.

4. De sterkte van het lawaai.

Hoe hoger het geluidniveau is, hoe eerder en hoe ernstiger gehoorverlies zal optreden. Deze factor komt later nog uitvoeriger ter sprake.

5. Het frequentiespectrum van het lawaai.

Uit proeven met zuivere tonen is bekend dat bij gelijke geluiddruk hoge frequenties schadelijker zijn dan lagere. Overeenkomstige resultaten vonden wij bij de in hoofdstuk 5 te bespreken experimenten met smalle lawaaibanden. Ook de ervaringen met industrielawaai wijzen in deze richting. De overgrote meerderheid der onderzoekers neemt immers voor het normale lawaai de grens tussen schadelijk en niet schadelijk aan bij 85-90 dB, maar Schowalter vond bij 10 personen, die vijf tot tien jaar gewerkt hadden in een lawaai van 90 dB of meer met de grootste energie bij 150 Hz of lager, geen afwijkingen van het drempelaudiogram.

6. De continuïteit van het lawaai.

Het is mogelijk, dat het voor de schadelijkheid verschil maakt of een lawaai continu is of intermitterend. Door reflectoire contractie van de middenoorspiertjes kan het oor gedeeltelijk beschermd worden tegen de schadelijke invloed van sterk geluid. De reflex heeft een latente tijd van 11 msec. Explosief geluid, dat binnen deze tijd grote intensiteiten bereikt,

is dus al schadelijk vóór deze bescherming kan optreden, tenzij er bovendien een aanhoudend lawaainiveau is van voldoende hoogte om de reflex in stand te houden.

Bij intermitterend geluid moet men rekening houden met de later te bespreken moeilijkheden van intensiteitmetingen bij niet-continue geluidbronnen. Door de traagheid der meter is in deze gevallen de aanwijzing lager dan de werkelijke hoogte van de pieken. Het lawaai zal dus schadelijker kunnen zijn dan een continu lawaai, dat op de meter een zelfde uitslag geeft.

7. Vloertrillingen.

Door het trillen van machinerie en funderingen staan in vele gevallen arbeiders ook bloot aan vibraties, die door het lichaam naar de schedel met het labyrinth geleid worden. Von Wittmaack en zijn school achtten deze vibraties belangrijk voor het ontstaan van het acustische trauma, hetgeen destijds door de school van Siebenmann fel werd bestreden. In de industrie is dit probleem vooral door Temkin bestudeerd.

De frequentie van deze vibraties ligt in het gebied van de onderste gehoorgrens. Klinkhamers werken met niet veel meer dan 900 slagen per minuut, de dribbelbanen in chocoladefabrieken met ten hoogste 2000 slagen per minuut. Dit zijn dus 15, resp. 33 slagen per seconde.

De amplitudo kan soms zeer groot zijn. Temkin meende, dat deze langzame trillingen schadelijk konden zijn. Arbeiders die wel aan lawaai, maar niet aan vloertrillingen bloot stonden, kregen discantdoofheid; stonden ze aan beide bloot dan ontwikkelde zich bovendien een basdoofheid, welke echter later en langzamer optrad. Deze waarneming is door latere schrijvers noch bevestigd noch bestreden. Men acht echter algemeen de invloed van deze trillingen op de gehoorscherpte van zeer ondergeschikt belang vergeleken met de invloed van het geluid, dat het oor via de luchtweg bereikt.

8. De resistentie van het oor.

Perlman meende, dat oudere mensen gevoeliger zijn voor het verkrijgen van een acustisch trauma dan jongere. Ook Sacher heeft medegedeeld, dat bij gelijk aantal dienstjaren de oudere arbeider ernstiger is getroffen dan de jongere. Ook dit wordt, naar onze mening, voor een belangrijk deel veroorzaakt door het mede-optreden van presbyacusis. Onze eigen gegevens hierover zijn in hoofdstuk 8 in tabel 17 weergegeven.

Over de resistentie van oren die aan infecties hebben blootgestaan lopen de meningen uiteen. Men mag thans wel aannemen, dat een gehoorverlies door littekens en vergroeiingen van een genezen zuivere middenooraandoening beschermend werkt, omdat door de geleidingsdoofheid minder energie op de cochlea wordt overgebracht (Siebenmann, Perlman, Sacher, Temkin, Weersma, De Bruïne Altes). Davis, Larsen, McLaren & Chaney vonden geen verschil in doofheid tussen de groepen met en zonder doorgemaakte otitis media. Peyser meent op grond van zijn

belastingsproeven met zuivere tonen, dat een oor met actieve ontsteking en granulaties gevoeliger is dan normaal. Binnenoorcomplicaties bij een otitis media zouden ook een ongunstige factor voor het ontstaan van lawaaidoofheid zijn. Temkin meende, dat bij arbeiders, die aan sterke vloertrillingen blootstaan, elke vorm van middenooraandoening de kans op acustisch trauma zou vergroten. Constitutionele verschillen in de gevoeligheid voor lawaai maken, dat zonder duidelijk aanwijsbare reden bij sommigen reeds een kortdurende expositie aan intensief industrielawaai een blijvende doofheid veroorzaakt, terwijl de meesten slechts een voorbijgaande drempelverandering door hetzelfde lawaai krijgen. Urbantschitsch beschrijft een man met normaal gehoor, die door enkele uren ketelmakerswerk permanent hardhorend werd. Ook Van Dishoeck heeft een dergelijk geval waargenomen. Davis vermeldt een blijvende discantdoofheid na expositie aan zeer sterke, zuivere tonen. Bunch en vele anderen hebben blijvende gehoordrempelveranderingen gepubliceerd, opgetreden na slechts een enkele knal of explosie.

Naast deze ten opzichte van de norm zeer gevoelige personen komen ook extreem ongevoeligen voor, zoals iedere onderzoeker op dit gebied bekend is. Zelfs vindt men af en toe verschil in resistentie tussen de beide oren van een zelfde persoon.

Over lichaamsbouw en lawaaitrauma heeft Kristensen een onderzoek gedaan bij wevers. Hij vond, in tegenstelling tot Ciocco, geen uitgesproken onderscheid tussen asthenici en picnici. Aanvankelijke geringe verschillen verdwenen snel bij toenemende expositie.

Differentiaal diagnose

Bij een beoordeling van het gehoor van personen, die in een lawaaiige omgeving arbeiden, moet men steeds in gedachten houden dat, behalve combinatie met een elders ontstaan acustisch trauma, ook andere hoorstoornissen aanwezig kunnen zijn.

1. Afwijkingen in de uitwendige gehoorgang.

Volgens onderzoekingen van Van Dishoeck & De Wit vertoont het luchtgeleidingsaudiogram bij totale afsluiting van de gehoorgang, bijvoorbeeld door cerumen, een verlies voor alle frequenties van 10-20 dB aan de baszijde, van 20-40 dB aan de discantzijde.

Het beengeleidingsaudiogram is normaal. Is de afsluiting niet volkomen dan is het audiogram meestal normaal, hoewel er een verlies kan optreden voor zeer hoge tonen, wanneer de doorlaatopening klein is.

Kleine hoeveelheden vocht in de recessus inferior bij otitis externa geven een gering verlies voor de hoge tonen.

2. Aandoeningen van het middenoor, zoals acute of chronische otitis media of de gevolgen van een vroegere ontsteking.

Het luchtgeleidingsaudiogram geeft hier verliezen voor alle frequenties te zien, terwijl de beengeleiding bij een zuivere middenoordoofheid normale waarden oplevert. Is dit niet het geval, dan moet men aan-

nemen, dat ook het binnenoor is aangetast of, volgens nieuwere opvattingen, dat beide vensters afgesloten zijn.

Bij middenooraandoeningen is als regel het gehoorverlies voor de lage tonen slechts weinig minder dan voor de hoge. Vaak treedt er paracusis Willisii op, dat wil zeggen dat de hardhorende beter verstaat, wanneer hij in een lawaaiige omgeving is.

3. Afsluiting van de tuba Eustachii.

Het audiogram vertoont hierbij de voor een middenooraandoening karakteristieke afwijkingen. Het gehoorverlies is aan de baszijde het grootst (Van Dishoeck). Heft men onderdruk in de trommelholte op door de proef van Valsalva of Toynbee (persen of slikken met dichtgehouden neus) of door te politzeren of op andere wijze lucht in te blazen, dan zal de hoorfunctie verbeteren, wanneer er geen vergroeiingen zijn. Met de pneumofoon van Van Dishoeck kan de grootte van de onderdruk vastgesteld worden.

4. Otosclerose.

De in het begin optredende verstijving van het geleidingsmechanisme geeft verlies voor de baszijde en relatief goed discantgehoor, met de voor de middenoordoofheid typische verschillen tussen lucht- en beengeleiding. Later neemt echter het verlies voor de hoge tonen toe, zowel in lucht- als beengeleiding, door het mee aangedaan worden van het binnenoor. De drempelveranderingen zijn dus progressief. Vaak is er een paracusis Willisii. Drukverhoging in de uitwendige gehoorgang, wat normaal een verminderde gehoorscherpte tengevolge heeft (proef van Gellé), heeft hier geringer effect, daar de stijgbeugelplaat minder bewegelijk is geworden. Met de pneumofoon is de graad van deze demping quantitatief te meten.

5. Aandoeningen van het binnenoor, de gehoorzenuw of de gehoorcentra.

Bij deze groep ziekten vertoont ook het beengeleidingsaudiogram een verlies en wel bij zuivere gevallen evenveel als in de luchtgeleiding. Een nadere diagnose moet met behulp van de anamnese en de familieanamnese gesteld worden.

Langenbeck meent, dat het maskeringsaudiogram voor de onderscheiding van deze aandoeningen van belang zou kunnen worden. Als men tijdens audiometrisch onderzoek een normaal oor tevens blootstelt aan een ruis, ziet men maskering optreden in het gebied van de grootste gehoorgevoeligheid; het audiogram vertoont het beeld van een gehoorverlies voor de middenfrequenties. Versterkt men de ruis dan wordt dit schijnbare gehoorverlies groter en het breidt zich uit naar de hogere en lagere frequenties. Bij een reeds pathologisch verhoogde drempel treedt maskering pas op, wanneer de maskerende ruis zo sterk is dat deze bij een normaal oor een maskeringsaudiogram zou geven met een drempelverschuiving even groot als het pathologische audiogram. Het maskeringsaudiogram van het zieke oor is bij grote ruissterkten dus gelijk

aan dat van een normaal oor. Volgens Langenbeck zou echter bij aandoeningen van het ganglion spirale of van de nervus cochlearis in het getroffen gebied sterker maskering optreden, zodat ook bij sterkere ruis het maskeringsaudiogram afwijkingen vertoont.

6. Dips door andere oorzaken dan lawaai.

Er zijn vele schadelijke factoren beschreven, die een gelocaliseerd gehoorverlies kunnen geven zoals zo typisch is voor het acustische trauma. Deze zijn o.a. salicyl- of kininebehandeling, lues, commotio cerebri of andere hersenaandoeningen. Dit staat wel vast, alhoewel bij de beschrijving van zulke patiënten vaak verzuimd is het beroep te beoordelen, zodat toch soms acustisch trauma aanwezig zou kunnen zijn.

Af en toe vindt men spontane dips, waarvoor het lawaai als oorzaak niet verantwoordelijk is te achten en die ook vanzelf weer verdwijnen. Loch beschrijft ze bij jongens in de schoolleeftijd. Van Dishoeck & Van Gool vonden ook bij volwassenen vaak dips, terwijl lawaaitrauma uitgesloten kon worden. Sommige daarvan bleken te verdwijnen, anderen waren permanent. Zij observeerden een patiënt met een dip, welke door experimenteel lawaai verdween. Als oorzaak van deze plaatselijke gehoorverliezen moet worden gedacht aan locale ischaemie van het basilaire membraan door vaatspasmen of thrombose.

Volledigheidshalve zij vermeld dat niet alle dips binnenoordips zijn. Er kunnen bij defecten en littekens van het trommelvlies dips in het luchtgeleidingsaudiogram optreden, terwijl de beengeleiding deze niet toont. Omgekeerd publiceerden Van Dishoeck & Van Gool dips in de beengeleiding, die met de luchtgeleiding niet te vinden waren. Deze kunnen worden veroorzaakt door resonantie in telefoon of beentriller of door onregelmatigheden in de geluidtransmissiekarakteristiek van het bot.

7. Presbyacusis.

In de praktijk van een onderzoek naar beroepshardhorendheid is het aandeel van de ouderdomsveranderingen een van de moeilijkste factoren om te beoordelen. Volgens onderzoekingen van Bunch, Steinberg, Webster, Beasley, Johansen, Leisti, e.a. blijkt vooral in de hogere frequenties een met de leeftijd toenemende gehoorvermindering op te treden, die in tegenstelling tot de lawaaidoofheid geen regressie vertoont (De Bruïne-Altes). Hoe presbyacusis en acustisch trauma elkander beïnvloeden is nog niet bekend. Er zijn twee practische vragen:

a. Krijgt een oor met een gehoorverlies door presbyacusis onder overigens gelijke omstandigheden door inwerking van lawaai dezelfde drempelverandering als een normaal oor?

b. Wordt het gehoorverlies bij een bestaand acustisch trauma door het optreden van presbyacusis vergroot?

De eerste vraag kwam reeds ter sprake: de resistentie tegen lawaaischade zou bij het ouder worden afnemen. Nader onderzoek is nodig om na te gaan, of een grotere drempelverschuiving of een slechter herstel de voornaamste factor is.

Een bevredigend antwoord op de tweede vraag zal pas mogelijk zijn, wanneer men van personen, die een echte lawaaidip kregen op betrekkelijk jonge leeftijd, bijvoorbeeld in militaire dienst en die nadien niet meer aan lawaai blootstonden, contrôle-audiogrammen van vóór het optreden van het trauma tot na het ontstaan van duidelijke presbyacusis ter beschikking zal krijgen. Dit is thans nog niet mogelijk, omdat de audiometer daarvoor nog te kort geleden in gebruik kwam. Wanneer het gehoorverlies ter plaatse van het maximum van de dip in dezelfde mate toeneemt als aan de randen, dan is er eenvoudige summatie van de presbyacusis bij het lawaaitrauma. Blijft echter de diepte van de dip ten opzichte van de nullijn gelijk, terwijl het gehoorverlies terzijde van de dip toeneemt, dan is het proces gecompliceerder.

Voorlopig hebben vele schrijvers aangenomen, dat de ouderdomsveranderingen ook bij lawaaidoven in dezelfde mate optreden als bij het normale ouder wordende oor (Siirala & Lahikainen, Kryter, Rosenblith c.s.). Gardner heeft namelijk bij een onderzoek van 296 werfarbeiders gevonden, dat met stijgende leeftijd het gehoorverlies, dat in de jongste leeftijdsgroep reeds belangrijk was, ongeveer in dezelfde mate toenam als bij ouder wordende normalen. Het lawaaitrauma, een beschadiging gezeteld in het orgaan van Corti en de ouderdomsdoofheid, veroorzaakt door degeneratie van het ganglion spirale en de nervus cochlearis (Meurman), zouden min of meer onafhankelijk van elkaar de gehoorscherpte kunnen beïnvloeden.

Dit wordt bij analyse van onze audiogrammen bevestigd. In figuur 1 is voor de verschillende leeftijdklassen van personen uit drie groepen van onderling vergelijkbare afdelingen weergegeven de gemiddelden van het gehoorverlies bij 4,0 kHz, de diepte van de dip en het geringste gehoorverlies in het frequentiegebied hoger dan de dip. Tevens zijn aangegeven de overeenkomende gemiddelde verliescijfers voor normale mannen volgens Beasley (zie tabel 2).

Men zou aan de hand van dergelijke cijfers een correctie van de nulcurve voor elke leeftijd kunnen aanbrengen om het acustische trauma zuiver te beoordelen. Een bezwaar is echter, dat de spreiding van de waarnemingen rond het gemiddelde voor deze hoge frequenties op oudere leeftijd veel groter is dan bij 20-30-jarigen. Dat wil zeggen, dat niet alle ouderen de gehoorvermindering der hogere frequenties in dezelfde mate vertonen. Zo men al zou willen aannemen, dat presbyacusis en acustisch trauma geheel onafhankelijk van elkander variëren en het dus mogelijk zou zijn om bij grote leeftijdsgroepen een zekere correctie toe te passen, toch is voor elk individueel audiogram niet te bepalen, welke „ouderdom" men deze persoon audiologisch gesproken zou moeten aanrekenen. Verder vertonen de gemiddelde gehoordrempelcurven voor verschillende leeftijdgroepen voor vrouwen altijd minder gehoorverlies dan voor mannen en het is de vraag of dit geheel berust op een physiologisch verschil tussen de sexen.

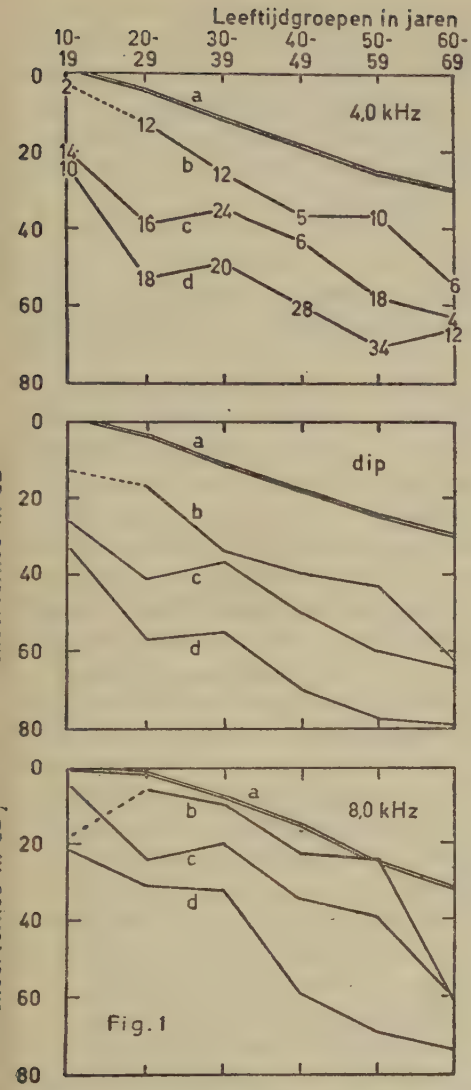
TABEL 2

De invloed van de leeftijd op de gehoordrempel

Gemiddelde afwijking ten opzichte van het gemiddelde voor mannen en vrouwen van 20-29 jaar

(Naar gegevens van Beasley)

Mannen Leeftijdsgroep	Aantal oren	Gemiddelde afwijking in dB.							
		64	128	256	512	1024	2048	4096	8192
Onder 10	316	1,4	1,6	0,5	0,8	1,3	1,0	−1,3	0,7
10–19	1176	−0,1	0,3	−0,2	−0,1	−0,2	0,4	−1,3	1,0
20–29	684	−0,6	−0,8	−0,9	−0,5	−0,1	0,3	3,9	2,0
30–39	800	−0,1	−0,1	0,1	0,2	0,9	2,6	11,8	8,6
40–49	640	0,8	0,8	1,1	0,8	2,0	4,6	18,5	15,5
50–59	282	1,1	1,1	1,6	1,5	2,8	6,5	25,2	25,1
60 en ouder	106	1,3	1,3	2,1	1,9	2,5	8,5	29,9	32,2
		Standaarddeviatie							
Onder 10	316	6,2	6,4	5,9	6,1	6,7	7,0	11,1	12,4
10–19	1176	6,5	6,7	6,3	6,4	6,2	7,5	12,2	14,3
20–29	684	6,5	6,8	6,0	6,5	6,4	7,5	16,4	15,6
30–39	800	6,3	6,6	6,1	6,4	6,9	8,0	18,8	13,2
40–49	640	6,6	6,9	6,3	6,4	6,4	8,6	20,1	19,4
50–59	282	6,5	7,1	6,1	6,9	7,4	8,4	18,4	19,6
60 en ouder	106	6,4	7,3	6,4	7,0	7,6	8,1	17,0	19,9
Vrouwen Leeftijdsgroep	Aantal oren	Gemiddelde afwijking in dB.							
Onder 10	280	2,3	2,7	1,6	1,9	1,2	0,9	−3,7	−0,3
10–19	1278	0,2	0,7	0,1	0,0	−0,7	−1,5	−4,4	−3,6
20–29	1130	0,3	0,4	0,5	0,2	0,1	−0,1	−2,0	−1,0
30–39	1278	1,3	1,7	1,3	1,4	1,4	1,9	0,7	1,8
40–49	876	2,3	2,7	2,3	2,6	2,5	3,6	4,2	6,7
50–59	364	3,2	3,8	3,6	3,8	4,0	5,2	7,5	14,2
60 en ouder	114	4,6	5,4	4,7	5,6	5,3	8,1	12,4	25,3
		Standaarddeviatie							
Onder 10	280	6,2	6,1	6,6	6,4	6,2	6,8	7,8	10,0
10–19	1278	6,6	6,6	6,5	6,7	6,3	6,9	8,8	10,9
20–29	1130	6,7	6,8	6,5	7,0	6,7	7,2	9,9	10,8
30–39	1278	6,6	6,7	6,4	6,8	6,5	7,2	9,8	11,6
40–49	876	6,6	6,8	6,4	6,7	6,6	7,1	10,8	14,3
50–59	364	6,2	6,6	6,3	6,5	7,5	7,9	12,6	15,2
60 en ouder	114	7,0	7,4	6,6	7,4	7,5	7,4	12,9	16,9



FIGUUR 1 - De invloed van de leeftijd op de gehoordrempel van arbeiders in fabriekslawaai.
Van arbeiders uit drie groepen van onderling vergelijkbare afdelingen, namelijk (b) ponserij en automatenafdeling, (c) ketelmakerij en zware plaatwerkerij en (d) scheepswerf, zijn de gemiddelden van het gehoorverlies bij 4,0 kHz (boven), de diepte van de dip (midden) en het geringste gehoorverlies in het frequentiegebied hoger dan de dip (onder) weergegeven. Tevens zijn aangegeven (a) de overeenkomende gemiddelde drempelafwijkingen voor normale mannen volgens Beasley.

In de curves van de bovenste figuur is aangegeven het aantal waarnemingen waaruit elk gemiddelde is berekend.

Hoe nauwkeuriger men zijn proefpersonen uitzoekt en alle gehoorbeschadigingen uit andere oorzaak uitsluit, hoe meer de curven der mannen gaan gelijken op die der vrouwen (Johansen). De gemiddelden, die voor de verschillende leeftijdgroepen voor mannen gevonden zijn, werden blijkbaar toch nog voor een deel beïnvloed door andere factoren dan de leeftijd alleen. Voorlopig kunnen we dus niet met redelijke zekerheid een nulcurve-correctie voor de leeftijd aanbrengen.

Met Perlman kunnen we de differentiaal-diagnose van de beroepsdoofheid als volgt samenvatten: „Als een gezond persoon, jonger dan

50 jaar, die noch anamnestisch noch bij onderzoek oorziekten of invloed van vergiftiging of geneesmiddelen vertoont noch in de familie een ernstige constitutionele ziekte of doofheid heeft, maar die is blootgesteld geweest aan sterk lawaai, zoals scheepsklinkers, metaalbewerkers, mijnwerkers, wevers, treinmachinisten, enz., een discantdoofheid vertoont, is dit zeer waarschijnlijk een acustisch trauma. Dit gehoorverlies wordt niet groter als de lawaai-expositie ophoudt."

Prognose

Er werd reeds op gewezen, dat de lawaaidoofheid niet progressief is, wanneer het oor niet meer aan lawaai is blootgesteld en dat integendeel zelfs enig herstel verwacht kan worden. Dit laatste is het duidelijkst direct na het ophouden van de expositie aan lawaai en hier ligt de overeenkomst met ook in het laboratorium vastgestelde gehoorvermoeidheid na kortdurende sterke geluidprikkels voor de hand. De tijdelijke drempelverhoging door een dag werken in lawaai is het grootst, wanneer het audiogram 's morgens de minste afwijkingen vertoont. Indien echter al een groot gehoorverlies bestaat, neemt dit tijdens het werken in lawaai niet veel toe. Larsen, Russi, Chamberlain, Cox, Rosenblith e.a. publiceerden onderzoekingen over de gehoordrempel van metaalbewerkers of wevers, direct na het werk en na betrekkelijk korte tijd rust. Deze rust had op de gehoorscherpte een invloed ten goede, wat bleek uit een verbetering van het audiogram en van het verstaan der fluisterspraak. Langere rust van enkele maanden kan soms nog verdere verbetering geven.

Het is daarom onmogelijk door een gehooronderzoek kort na staken van het werk de werkelijke blijvende gehoorschade exact te bepalen, zoals dit nodig is voor een definitieve vaststelling van de invaliditeit in gevallen van compensatie-uitkeringen. Voor de praktijk, waar men te maken heeft met de validiteit van personen, die elke dag hun werk doen, is de grootte van het herstel, dat kan optreden na een rust van meer dan een dag, slechts van academische waarde. Trouwens, Hendricks, die het acustische trauma van instructeurs bij schietoefeningen naging, is, afgezien van het verdwijnen van de tijdelijke drempelverhoging in de eerste uren na de expositie, weinig geïmponeerd door de mogelijkheid tot herstel door voortgezette rust. Hij schrijft: „It seems probable that ears subjected to excessive noise suffer a marked hearing loss early, and after that continue to lose only gradually... The damage appears to be permanent for the higher frequencies, while the lower frequencies usually show some recovery... after adequate rest. The amount of improvement in most cases was disappointing and while a few showed considerable recovery, others showed very little".

Het herstel, zoals dat bij eigen onderzoek van lawaai-arbeiders gevonden werd, wanneer dezen door ziekte hun arbeid enige tijd hadden gestaakt, was eveneens teleurstellend en bedroeg ten hoogste 10 dB.

Er was daarbij echter ook herstel in de hogere frequenties. Figuur 2 is een typisch voorbeeld. Van het verschil tussen de audiogrammen, opgenomen voor en na een dag werk, zullen later nog voorbeelden gegeven worden. De door Rosenblith c.s. weergegeven herstelcijfers zijn hiermee in overeenstemming. Uit het voorgaande blijkt, dat de vooruitzichten wat betreft de gehoorscherpte van arbeiders in lawaai dus afhangen van de expositie, die nog plaats zal vinden, van de grootte van de reeds aanwezige drempelveranderingen, van de leeftijd van de betrokkene en van het tijdsverloop sinds de laatste lawaai-inwerking of de invoering van beschermende maatregelen. Zolang het oor steeds opnieuw aan lawaai wordt blootgesteld, kan men slechts toeneming van het gehoorverlies verwachten.

Als de gehoordrempel bepaald wordt enkele maanden nadat het lawaaiige werk is gestaakt, kan niet meer op verbetering worden gerekend.

Behandeling

De behandelingsmogelijkheid van lawaaidoofheid is uiteraard zeer beperkt en bestaat voornamelijk uit het geven van rust aan het getroffen orgaan. Zowel vitamine B als vitamine A is daarbij aangeraden met het idee het zenuwweefsel in zijn herstel te helpen. Is dit verwoest, dan zal de gehoorfunctie niet meer kunnen verbeteren. Er zijn echter overgangsvormen, zoals bijvoorbeeld aan de randgebieden van de defecten. Beïnvloeding daarvan zou dus, zij het gering, succes kunnen hebben. Het is namelijk opvallend, dat slechts kleine gehoordrempelveranderingen subjectief flinke verbeteringen lijken (zie figuur 2).

Tegen het hardnekkige oorsuizen, wanneer dit met bovenstaande maatregelen niet verdwijnt, kan men kleine doses sedativa als barbituurzuur-derivaten of broom voorschrijven. Ook nicotinezuur, novocaïne e.a. zijn toegepast om eventuele vaatkramp te bestrijden.

FIGUUR 2 - Audiogram van een 30-jarige man, die 6 jaar als constructieklinker werkt. Een gewoon gesprek met de onderzoeker kan steeds zonder merkbare moeite verstaan worden.
Na een rustkuur van 7 weken was er subjectief goede gehoorverbetering; betrokkene kon zijn wekker weer horen tikken.
Links is er 10-15 dB verbetering in het spraakgebied bij 800-1000 Hz; rechts 5-10 dB verbetering bij 2000-6000 Hz. Beengeleidings- en luchtgeleidingsaudiogram stemmen overeen.

Hoofdstuk III

HET INDUSTRIELAWAAI

Voor een doelmatige bestrijding en voor de daarbij noodzakelijke meting van het industrielawaai is enige fundamentele kennis van de eigenschappen van het geluid onontbeerlijk.

In het algemeen kan men lawaai omschrijven als een hinderlijk of ongewenst geluid. Geluid bestaat uit voor ons oor waarneembare trillingen. Bij het gewone horen worden deze van een trillend voorwerp door een lopende longitudinale golfbeweging in de omgevende lucht overgebracht op het oor. De voortplantingssnelheid bedraagt in lucht ongeveer 340 m/sec. In vloeistoffen en vooral in vaste stoffen is zij veel groter, bijvoorbeeld in water 4,5 maal, in hout 10 maal en in ijzer 15 maal zo groot.

Bij een enkelvoudige, zuivere toon is de trilling harmonisch. Elk luchtdeeltje beweegt heen en weer als ware het de projectie van een met eenparige snelheid rondcirkelend punt op een lijn in het vlak van die cirkel. Het aantal malen dat dit denkbeeldige punt rondcirkelt per seconde is het trillingsgetal of de frequentie van de toon, welke wordt uitgedrukt in hertz (Hz). Van de grootte van de straal, de amplitudo, is de sterkte van de toon afhankelijk.

De trillende luchtdeeltjes doen door hun heen en weer gaande beweging beurtelings de atmosferische druk iets toe- of afnemen. De (effectieve) geluiddruk is de wortel uit het gemiddelde van de kwadraten der opeenvolgende drukken in een periode. Hij wordt uitgedrukt in newton per m^2 of in dynes per cm^2 (μbar) en is bij spraak of industrielawaai van de orde van grootte van een millioenste van de atmosferische druk.

De hoeveelheid geluidenergie, die een geluidbron per seconde uitstraalt, wordt uitgedrukt in watts en staat bekend als het acoustische vermogen van de geluidbron. De geluidintensiteit in een gegeven punt van het geluidveld en een gegeven richting is de geluidenergie die per seconde de eenheid van oppervlakte (door dat punt en loodrecht op die richting) passeert. Ze is rechtevenredig met het kwadraat van de geluiddruk. Daar de geluidenergie per cm^2 omgekeerd evenredig is aan het kwadraat van de afstand tot de geluidbron, is de geluiddruk omgekeerd evenredig aan die afstand.

Meet men tegelijkertijd het complexe geluid van twee of meer indus-

triële lawaaibronnen, dan is de totale geluidintensiteit de som van de intensiteiten, die zouden worden gevonden als de geluidbronnen afzonderlijk konden worden gemeten. Men kan in deze gevallen niet zonder meer de effectieve geluiddrukken samentellen.

Zowel trillingsgetal als geluidsterkte worden om practische redenen niet op een lineaire, maar op een logarithmische schaal uitgezet. Voor het trillingsgetal ontstaat hierdoor een octavenschaal, waarbij het aantal trillingen per octaaf verdubbelt. De omschrijving van deze schaal blijft echter in trillingen per seconde. Dit in tegenstelling tot de schaal der geluidsterkte, het geluiddrukniveau, waar men in plaats van de absolute waarden een andere maatstaf gebruikt, namelijk de bel en het tiende gedeelte daarvan, de decibel (dB). Hiermede wordt uitgedrukt de onderlinge verhouding tussen twee acoustische of electrische vermogens.

Het in decibels uitgedrukte onderscheid in geluid(druk)niveau tussen twee geluiden is gelijk aan 10 maal de logarithme van de verhouding hunner energieën of, gezien de kwadratische verhouding tussen energie en druk, gelijk aan 2×10 maal de logarithme van de verhouding hunner geluiddrukken. Een verhoging van het niveau met bijvoorbeeld 20 dB betekent een honderdvoudige vergroting van de geluidintensiteit, een tienvoudige vergroting van de geluiddruk.

Indien men een bepaalde geluidsterkte als nulpunt der decibelschaal kiest, kan men zonder meer spreken van een geluidsterkte van bijvoorbeeld 80 dB, waarbij men bedoelt: 80 dB ten opzichte van de geluidsterkte van 0 dB. Dit nulpunt wordt in de acoustiek gelegd bij 2.10^{-5} newton per m^2. Dit is 2.10^{-4} dyne per cm^2 of 2.10^{-4} microbar en komt vrijwel precies overeen met een geluidintensiteit van 10^{-16} watt per cm^2.

Zuivere enkelvoudige tonen komen in de natuur niet voor. We hebben daar steeds met ingewikkelder geluiden te maken. Het industrielawaai is meestal een samenstel van allerlei frequenties van verschillende intensiteit. De curve, die aangeeft hoe sterk de onderscheidene frequentiegebieden vertegenwoordigd zijn, wordt het geluidspectrum genoemd. Wanneer het spectrum continu is en de energie per frequentie gelijk, dan spreekt men van een „witte ruis".

Geluidabsorptie

Het industrielawaai wordt grotendeels geproduceerd in gesloten fabrieksruimten. Wanneer het geluid zich daar door de lucht voortplant en op zijn weg de wand ontmoet, zal gedeeltelijk weerkaatsing optreden. De fractie van het geluid, die niet gereflecteerd wordt, is voor elke wand anders en wordt de absorptie-coëfficient van die wand genoemd. Ze kan variëren van 0 voor totale reflectie tot 1 voor totale absorptie. Dit laatste is hetzelfde als totaal afwezige reflectie, zoals bij een open raam.

Wanneer in een ruimte een continu en gelijkmatig werkende geluidbron ingeschakeld wordt, breidt de geluidgolf zich naar alle zijden uit. Dit is de directe straling. Bereikt deze de muren, het plafond, de vloer

of voorwerpen in de ruimte, dan wordt dus een gedeelte weerkaatst. De energie van het gereflecteerde geluid voegt zich bij die der directe straling en verhoogt het totale geluidniveau. Treft daarna de teruggeworpen golf opnieuw een wand, dan zal ook de tweemaal en zelfs vaker gereflecteerde straling telkens iets bijdragen tot de verhoging van het totale niveau. Daarmee stijgt ook de hoeveelheid geluidenergie die per seconde wordt geabsorbeerd en wel zo lang tot het totale geabsorbeerde vermogen gelijk is aan dat wat uitgestraald wordt. Hierdoor bereikt de totale geluidsterkte op een gegeven punt in de ruimte enige tijd na het in werking treden van de geluidbron een constante maximumwaarde. Omgekeerd zal, wanneer de geluidbron uitgeschakeld wordt, het geluidniveau niet plotseling een minimum-waarde bereiken. Immers, de in de ruimte aanwezige geluidgolven verliezen slechts geleidelijk hun intensiteit door de bij elke reflectie optredende absorptie. De tijd, die na het stil worden van de geluidbron verloopt totdat het geluidniveau met 60 dB is afgenomen, noemt men de nagalmtijd.

Daar de sterkte van het directe, niet gereflecteerde geluid afneemt met het kwadraat van de afstand tot de geluidbron, zal vlak er bij de invloed van het directe, op grote afstand echter de invloed van het weerkaatste geluid het grootst zijn. Verwijdert men zich langzaam van de geluidbron, dan neemt eerst de geluidsterkte kwadratisch af zolang de directe geluidstraling sterker is dan het algemene geluidniveau in de afdeling, maar op een bepaalde afstand wordt de invloed van het indirecte, gereflecteerde geluid het grootst en hierdoor blijft, ook indien men zich verder van de geluidbron verwijdert, het geluidniveau hetzelfde.

De hoogte van dit algemene geluidniveau is volgens onderzoekingen van Sabine omgekeerd evenredig aan het aantal geluidabsorptie-eenheden aan muren, plafond, vloer en voorwerpen in de ruimte. Dit aantal geluidabsorptie-eenheden wordt gevonden door van alle verschillende wandstructuren het oppervlak te vermenigvuldigen met de absorptiecoëfficient en deze producten samen te tellen. Men berekent hierdoor welk oppervlak aan perfect absorberend, niets weerkaatsend materiaal („open raam") men nodig zou hebben om dezelfde totale absorptie te bereiken als de betrokken ruimte heeft.

Over het algemeen geldt, dat hoge frequenties gemakkelijker geabsorbeerd worden dan lagere. Deze laatste worden het beste gedempt door slappe, gemakkelijk meetrillende panelen of ruiten, de eerste door poreuze stoffen.

Terwijl de geluidgolf zich in een bepaald medium voortplant, gaat een gedeelte van de geluidenergie verloren. Dit geldt ook voor lucht, welke factor echter alleen voor grote ruimten en dan vooral voor de hoogste tonen van belang is.

Geluidisolatie

Een scheidingswand wordt door geluid dat hem treft in trilling gebracht,

waardoor hij, ook aan de van de geluidbron afgewende zijde, geluid afstraalt. Dit is echter zwakker dan het geluid dat hem trof. Deze verzwakking, die wordt uitgedrukt in decibels, neemt toe wanneer het gewicht van de muurconstructie per oppervlakte-eenheid groter wordt en wel theoretisch met 6 dB, practisch met gemiddeld 4,5 dB bij verdubbeling van het gewicht. Ze is alleen afhankelijk van de aard der muur en niet van de sterkte van het geluid of het karakter der ruimten ter weerszijden van de muur.

De geluidisolatie door scheidingswanden is voor hoge tonen groter dan voor lage en neemt 3-6 dB per octaaf toe.

De isolatie-karakteristiek van een muur wordt opgegeven voor een gebied van 100-3200 Hz. Voor een 25 cm dikke stenen muur is de gemiddelde isolatie ongeveer 49 dB. Naarmate de wand moeilijker in trilling is te brengen wordt minder geluid doorgelaten. Een indruk van de isolerende werking van bijvoorbeeld de deur van de onderzoekkamer kan men krijgen door van iemand, die zich in de kamer bevindt de gehoor drempel te bepalen, niet via de telefoon, maar via een luidspreker die buiten de kamer is opgesteld. Uit het verschil tussen de drempels bij geopende en bij gesloten deur kan de isolatie afgelezen worden.

Het meten van industrielawaai

Metingen ter beoordeling van de schadelijkheid voor het gehoor moeten anders gericht zijn dan die voor lawaaibestrijding door acoustische maatregelen.

Voor de *schadelijkheid* is het nodig te weten aan welk lawaai de arbeider tijdens zijn werk blootstaat. Belangrijk zijn de sterkte en hoe deze over de verschillende geluidfrequenties is verdeeld en de sterkteveranderingen tijdens de expositie. De arbeider zal zich immers vaak niet op dezelfde plaats bevinden en ook is het lawaai dikwijls niet continu. Het kan bijvoorbeeld uit kortdurende charges bestaan of veel intensiteitspieken bevatten.

Voor de *bestrijding* moet men nauwkeurig de bron van het lawaai opsporen, de acoustische eigenschappen van de ruimte nagaan, resonantiebepalingen en vele andere metingen verrichten, zoals in hoofdstuk 8 nog ter sprake komt.

Voor een eerste oriëntatie over het geluidniveau in een bepaalde fabrieksafdeling kan men zich behelpen met na te gaan, hoe daar door een normaal-horende spraak verstaan kan worden. Tabel 3 geeft hiervoor enige waarden.

De exacte methode om een overzicht te krijgen van de sterkte en de frequentieverdeling van industrielawaai blijft het objectieve meten met geluid-meetinstrumenten. Met de geluiddruk-meter kunnen de electrische verschijnselen, door het lawaai opgewekt in een microfoon, na eerst versterkt te zijn, met een spanningsmeter gemeten worden. Schakelt men in plaats van de microfoon een trillingsopnemer in,

TABEL 3

Indeling van de hoogte van lawaainiveau's naar de mate, waarin het verstaan van spraak belemmerd wordt

	Totaalniveau dat hier ongeveer mee overeenkomt
Normaal spreken verstaanbaar op meer dan 1 m	70 dB of minder
Normaal spreken verstaanbaar op 1 m	80 dB
Zeer luid spreken verstaanbaar op 1 m	90 dB
Spraakverstaan nog mogelijk bij schreeuwen aan het oor	100 dB
Zelfs schreeuwen onverstaanbaar	110–120 dB
Pijngrens	120–130 dB
Onverdraaglijk luid	130–150 dB

dan is men in staat trillingsamplitudo's aan machine-onderdelen te meten.

Om een indruk te krijgen van de energieverdeling over de verschillende frequenties, die in het lawaai aanwezig zijn, verricht men de meting via filters, die bepaalde frequenties onderdrukken, andere vrij doorlaten, zodat slechts van deze laatste de sterkte wordt bepaald. Voor industrielawaai gebruikt men gewoonlijk octaafband-doorlaatfilters, omdat hiervan uitvoeringen bestaan, die voor metingen buiten het laboratorium geschikt zijn. Telkens worden slechts trillingen uit één octaaf doorgelaten.

De juiste wijze van gebruik van deze meetinstrumenten hangt af van de constructie. De bij de apparatuur verstrekte instructies geven hierover inlichtingen. Men doet echter verstandig zich de techniek van het meten in de praktijk onder leiding van een deskundige eigen te maken. Vooral bij technische adviezen ter verkrijging van een lager lawaainiveau zal de bedrijfsarts de hulp van experts nodig hebben. Geluidkundigen met ervaring op het gebied van dit soort metingen waarschuwen voor een te lichtvaardig vertrouwen in de getallen, die de meter aanwijst, daar er vele foutenbronnen zijn. Deze worden hieronder kort samengevat terwille van een beter inzicht voor hen, die met geluidmetingen te maken hebben.

In Nederland kan men geluidmetingen laten uitvoeren door de Technisch Physische Dienst T.N.O. en T.H. te Delft.

1. Moeilijkheden bij de geluidmeting, veroorzaakt door de apparatuur.

Het betrekkelijk eenvoudige controleren van de spanningsbronnen moet meermalen tijdens een meetdag herhaald worden. De microfoon moet geijkt zijn en regelmatig gecontroleerd worden. Het meten van een bekende lawaaibron met een vlak spectrum, bijvoorbeeld een ventilator, wordt mede hiervoor, maar vooral voor het beproeven van de filters, aanbevolen. In hoge niveau's of wanneer er veel vloertrillingen zijn kunnen er microfonische effecten in de versterker zelf optreden. Men

moet daarom nagaan hoeveel de meter aanwijst, indien men in de plaats van de microfoon een stuk kabel of een andere weerstand heeft geschakeld. Geeft dit minder dan 10 dB verschil met de normale meting dan moet men de meter isoleren van de lawaai-inwerking, bijvoorbeeld door hem buiten de ruimte te plaatsen. Invloed van trillingen kan men opsporen door de meter op te tillen en, indien dit daling van de aanwijzing geeft, hem trillingsvrij op te stellen.

Electrische storingen kan men bijvoorbeeld verwachten bij vonkende collectorborstels; magnetische, wanneer men met een dynamische microfoon metingen doet in de buurt van lastransformatoren en dergelijke. Bij zeer lage lawaainiveau's heeft men soms last van versterkerruis of brom in de meetapparatuur. Men doet daarom verstandig steeds tijdens de metingen via een hoofdtelefoon mee te luisteren. Verder vergelijke men het gemeten totaalniveau met het totaalniveau dat men kan berekenen uit de uitkomsten van de octaafband-metingen, ter vermijding van afleesvergissingen en om afwijkingen van de filters tijdig op te sporen (zie tabel 4).

2. Moeilijkheden bij de geluidmeting, veroorzaakt door de eigenschappen van het geluid.

De richting, waarin het geluid de microfoon treft, kan invloed hebben op de meting. De apparatuur is geijkt voor een gelijkmatige inwerking van alle kanten. Is de microfoon gericht naar de geluidbron, dan kan de meter hoger aanwijzen dan wanneer het geluid haar alleen van zuiver terzijde treft. Dit verschijnsel treedt vooral op bij de hogere frequenties. Indien bij het weergeven van meetresultaten over dit punt geen bijzonderheden worden vermeld, moet men aannemen dat de microfoon tijdens de meting in zijn normale stand, rechtop op zijn standaard, is gehouden.

Staande golven kan men op het spoor komen, wanneer men bij beweging van de microfoon in één richting de wijzer van de meter enkele malen heen en weer ziet schommelen. Men kan plaats en intensiteit van maximum en minimum bepalen. Voor een toon van 1000 Hz is de afstand tussen knoop en buik 17 cm. Ook op het gehoor kan men door bewegen van het hoofd deze verschijnselen waarnemen.

In de buurt van een voorwerp kan het geluidniveau veranderen door reflectie, zodat men bij metingen bijvoorbeeld vlak bij het oor van iemand tot 5 dB hogere waarden kan vinden dan op dezelfde plek, wanneer die persoon er niet is. Bij het trommelvlies van de arbeiders heerst dus een andere geluiddruk dan men met de gebruikelijke techniek meet. Men mag echter aannemen, dat er tussen beide een bepaalde relatie is. Vrijwel alle gepubliceerde lawaaispectra zijn in het „vrije veld" gemeten, dus met een microfoon in plaats van de persoon en niet naast hem. Daar de meter zelf ook een dergelijke storende invloed op zijn eigen microfoon heeft, wordt aangeraden om de microfoon steeds aan een kabel en op een standaard te gebruiken of althans tijdens de meting op armlengte van

TABEL 4

Samenvoegen of scheiden van geluidniveau's in dB

Eenheden	Tientallen								
	40	50	60	70	80	90	100	110	120
0,0	–	–	–	–	1	0	0	–	–	–
0,5					1	1	2			
1,0	–	–	–	–	1	2	6	–	–	–
1,5					1	4	1			
2,0	–	–	–	–	1	5	8	–	–	–
2,5					1	7	8			
3,0	–	–	–	–	2	0	0	–	–	–
3,5					2	2	4			
4,0	–	–	–	–	2	5	1	–	–	–
4,5					2	8	2			
5,0	–	–	–	–	3	1	6	–	–	–
5,5					3	5	5			
6,0	–	–	–	–	3	9	8	–	–	–
6,5					4	4	7			
7,0	–	–	–	–	5	0	1	–	–	–
7,5					5	6	2			
8,0	–	–	–	–	6	3	1	–	–	–
8,5					7	0	8			
9,0	–	–	–	–	7	9	4	–	–	–
9,5					8	9	1			

a. Het berekenen van het totale niveau uit de waarden van de octaafband-analyse.
De waarden, die meer dan 10 dB met de hoogste waarde verschillen, kan men vrijwel steeds verwaarlozen.

Voorbeeld: De hoogste drie waarden van een octaaf-analyse zijn: 91 dB, 86,5 dB en 82 dB. Men zoeke in de tabel de bij de eenheden behorende cijfergroepen, namelijk 126, 447 en 158.

De plaats van de komma volgt uit de tientallen, namelijk aldus: 12,6; 4,47 en 1,58. De som van deze laatste getallen is 18,7. Dit getal correspondeert met ongeveer 92,5 dB, de waarde van het gezochte totaalniveau.
Op dezelfde wijze kan men het totale niveau van twee of meer geluidbronnen berekenen, wanneer de niveau's, veroorzaakt door deze bronnen afzonderlijk, bekend zijn. Dit kan voorkomen wanneer men in een fabrieksruimte een uitbreiding van het aantal machines overweegt. Verdubbeling van het aantal gelijksoortige geluidbronnen betekent een stijging van het niveau met 3 dB.

b. Het berekenen van het lawaainiveau van een machine, die opgesteld staat in een afdeling, waar nog andere lawaaibronnen zijn welke niet stopgezet kunnen worden.

Voorbeeld: Totaalniveau wanneer de te meten machine werkt bedraagt 96 dB; totaalniveau wanneer deze machine niet werkt bedraagt 91,5 dB. In de tabel zoeke men de bijbehorende getallen, namelijk 39,8 en 14,1. Het verschil hiervan is 25,7 hetgeen overeenkomt met 94 dB voor het niveau, dat deze machine zou veroorzaken, als er geen ander lawaai was.

zich af te houden, met de arm dwars op de vermoedelijke richting van het geluid.

Vooral bij metingen in de open lucht kan er achter een voorwerp een

zekere schaduwwerking optreden, waardoor de geluidsterkte vermindert. Dit geldt in het bijzonder voor hogere tonen.

Daar sommige arbeiders vlakbij, andere op grotere afstand van machines werken, zodat de een meer de invloed van het directe geluid, de ander meer die van het algemene niveau ondergaat, moet men van beide een indruk hebben. Het directe lawaai variëert, zoals reeds werd gezegd, sterk met de afstand tot de bron, indien men daarvan niet te ver is verwijderd. Men moet dan ook systematisch verscheidene metingen doen in het gebied, waar een bepaalde arbeider zich tijdens zijn werk ophoudt, om een volledig beeld te krijgen.

3. Moeilijkheden bij de geluidmeting, veroorzaakt door de aard van het lawaai.

De gewone meetapparatuur, namelijk de geluiddruk-meter met octaafband-filters, heeft een zekere traagheid. Daarom zal bij kortdurende geluidimpulsen de meter niet de werkelijke piekwaarde aangeven. Voor een juiste aanwijzing moet het intensiteitniveau langer dan een kwart seconde constant zijn. Dit is de gestandaardiseerde eis voor de ongedempte aanwijzing. De gebruikelijke meters hebben ook een stand, waarbij de snelheid van uitslag wordt vertraagd.

Past men bij de meting deze stand toe, dan wordt de tijd, nodig voor een goede aanwijzing, belangrijk langer dan een kwart seconde. Deze tijd hangt van de apparatuur af, daar hiervoor geen standaard is aangegeven. Ze bedroeg bij de door ons gebruikte geluiddruk-meter ongeveer een seconde. Wanneer het verschil tussen de meting met ongeremde en met opzettelijk vertraagde aanwijzing niet groter is dan 5 dB, kan de waarde in de „snelle" stand nog betrouwbaar geacht worden.

Komen de geluidimpulsen snel achter elkaar, dan kunnen de piekwaarden de versterker soms overbelasten, wat een lagere aanwijzing van de meter tengevolge heeft. Daar via de octaafband-filters overbelasting minder snel zal optreden en deze dus juister aanwijzen, merkt men in dit geval dat het uit de octaafmetingen berekende totaalniveau hoger is dan bij de directe meting. Wanneer de gewone geluiddruk-meter te traag is, moet men om het juiste niveau te meten de kathodestraal-oscillograaf gebruiken. Indien men nauwkeuriger over het spectrum wil worden ingelicht dan met octaafband-filters mogelijk is, gebruikt men analysatoren met een smallere band. Dit is het geval als bepaalde frequenties zeer op de voorgrond treden of naar boventonen moet worden gezocht.

Wanneer het lawaai slechts in betrekkelijk kort durende charges optreedt, zodat een volledige analyse niet uitgevoerd kan worden, is vastleggen op een magnetische band een voordeel, omdat deze in het laboratorium zorgvuldig gemeten kan worden. Men houde voor gewoonte, voor en na de spectrumanalyse het totaalniveau af te lezen. Indien er groter verschil is dan 1 dB moet men opnieuw meten gedurende een stabielere periode.

Bij metingen in de open lucht heeft men soms veel last van de wind, waardoor grote schommelingen der meetwaarde ontstaan. Bij de analyse blijken deze in het laagste octaaf gelocaliseerd te zijn. Nemen ze af, indien men de microfoon met een zakdoek bedekt, dan mag men aannemen, dat het inderdaad deze stoornis is en moet men daarvoor bescherming zoeken.

Wil men in een bedrijf speciaal het lawaai van een bepaalde machine weten dan is soms het geluid uit de omgeving, het zogenaamde achtergrond-lawaai, zeer hinderlijk. Men kan meestal gemakkelijker de te onderzoeken installatie stop zetten dan het andere lawaai doen ophouden. Men meet dan het geluidsterkte-niveau als de machine werkt en als hij niet werkt. Uit deze twee meetgetallen is met behulp van tabel 4 te berekenen, hoe het lawaainiveau zou zijn, wanneer alleen de betrokken machine werkte.

Men vergete niet om tijdens het meten uitvoerig en nauwkeurig aantekening te houden van alle omstandigheden en meetwaarden. Men kan hiervoor het beste tevoren opgestelde formulieren gebruiken.

Tenslotte bedenke men nog, dat de apparatuur voor geluidmetingen een zekere onnauwkeurigheid aankleeft, die $\pm$ 2 dB mag bedragen in de middelste octaven. Grote verschillen in temperatuur en vochtigheid zijn schadelijk voor de meetapparatuur.

LAWAAIMETINGEN TE DORDRECHT

Op initiatief van de Medisch Adviseur van de Arbeidsinspectie werd door het Nederlands Instituut voor Praeventieve Geneeskunde te Leiden een commissie Gehoorbescherming ingesteld met vertegenwoordigers uit verschillende universitaire instanties, het bedrijfsleven, het leger en de Nederlandse Centrale Organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek (T.N.O.).

Als onderdeel van een door de werkgroep uit deze commissie georganiseerd onderzoek werden op 20 en 21 November 1951 in een aantal bedrijven te Dordrecht geluidsterkte-metingen verricht in samenwerking met Ir J. van den Eijk, Hoofd van de Sectie Geluid en Licht van de Afdeling Gezondheidstechniek T.N.O. en met de Technisch Physische Dienst T.N.O. en T.H. Op 8 October 1952 werd in één der afdelingen de meting herhaald, terwijl tevens in een ander bedrijf nieuwe metingen werden verricht. Het geluid werd opgenomen op een magnetische band ter nadere bestudering in het laboratorium van de Afdeling Oorheelkunde van het Academisch Ziekenhuis te Leiden.

Meetmethode

Drie parallel geschakelde, met zorg uitgekozen en geijkte kristalmicrofoons werden opgesteld daar, waar de normale arbeidsplaats is van de werknemers. Via een spanningsversterker, een octaafband-frequentiezeef en een in decibels geijkte spanningsmeter werd voor elke octaafband

afzonderlijk het geluiddrukniveau bepaald. Er stonden acht octaafbanden ter beschikking met meetkundige middens gelegen bij 60, 120, 240, 480, 960, 1920, 3840 en 7680 Hz. Bij de geluidsterkte-metingen op de scheepswerf werd de microfoonstandaard door een helper gedragen, ten eerste om de invloed van trillingen zo veel mogelijk te vermijden, ten tweede om de microfoons tijdens het klinken en koken ongeveer ter hoogte van het hoofd van de betreffende arbeider te kunnen houden. In tabel 5 en in de figuren 3-14 zijn de resultaten van onze metingen weergegeven.

Beschrijving der afdelingen

1. Chocoladefabriek, afdeling enrobeuses.

Hier worden vaste bonbonvullingen (intérieurs) bedekt met een omhullend laagje chocolade. De intérieurs worden op een transportrooster gebracht en schuiven daarna onder een stroom vloeibare chocolade door. Een grove trillende beweging van het rooster maakt, dat de chocolade goed op de vulling aansluit, vrij wordt van luchtblaasjes en niet een te dikke laag vormt.

De *lawaaibron* is hier het mechanisme, dat het transportrooster op en neer doet bewegen met een frequentie van ongeveer driehonderd slagen per minuut over een afstand van acht tot tien mm.

Het *lawaai* is een continu, dof rammelend geraas. Duidelijk op de voorgrond tredende frequenties, zoals fluitende of klinkende tonen zijn er niet. Men kan zich goed verstaanbaar maken bij een onderlinge afstand van ongeveer 75 cm, zij het dan dat een flinke stemverheffing nodig is. De muziek van de fabrieksradio is ook, wanneer men niet aan lawaai gewend is, wel te volgen.

Het geluidniveau is, op het gehoor beoordeeld, over de gehele afdeling, die ongeveer 14 m breed, 15 m lang en 4 m hoog is, gelijk, althans daar, waar de meisjes hun werk doen. Daardoor is de mate van expositie voor alle arbeidsters in de loop van hun werk vrijwel gelijk. Klachten over doofheid door het lawaai zijn er niet, hoewel de baas van de afdeling, die hier 25 jaar werkt, duidelijk hardhorend is.

Omstandigheden tijdens de meting.

De microfoons werden op oorhoogte temidden der machines opgesteld. De luidsprekermuziek en het zingen en praten der fabrieksmeisjes hadden door hun geringe intensiteit ten opzichte van het machinegeraas geen invloed op de metingen.

Het gemeten lawaaispectrum vertoont een duidelijk maximum in de lage octaven (zie figuur 7).

2. Chocoladefabriek, afdeling Praletta.

Hier maakt men chocolade-omhulsels (extérieurs) voor bonbons met zachte vulling of holle chocoladefiguren. Metalen vormen worden onder een chocoladestroom doorgeschoven en daardoor gevuld. Ze komen dan op een dribbelbaan, die een trillende beweging uitvoert. Hierdoor wordt bereikt dat de chocolade de vorm goed vult en dat luchtbellen uitgedreven worden. Daarna keert men de vormen met de hand om en giet ze leeg, waarbij alleen de wand door chocolade bedekt blijft.

De *lawaaibron* is hier het mechanisme, dat de geleidingsbanen van de vormen ongeveer 600 maal per minuut heen en weer schudt, en het klepperen van de vormen op de banen.

Het *lawaai* is continu, fel rammelend en klepperend, middelmatig hoog en metaalachtig. Spraakverstaan is slechts zeer gebrekkig mogelijk en alleen door schreeuwen aan het oor. Het hoogste geluidniveau heerst ter weerszijden langs de trillende vormen-baan. De terwille van de reinheid in tegels uitgevoerde wandbekleding heeft een geringe absorptie-coëfficient, zodat het geluidniveau over de gehele afdeling, die even groot is als de enrobeuse-afdeling, zo hoog blijft dat zelfs met stemverheffing gesproken conversatie pas op ongeveer 15 cm

van het oor verstaanbaar wordt. De expositie aan lawaai is het ernstigst voor de personen, die de vormen keren. Over doofheid door lawaai is op deze afdeling nooit geklaagd. Eén van de mensen, die daar langere tijd werkt, is hardhorend, maar deze heeft een chronische oorontsteking.

Omstandigheden tijdens de meting.

De microfoons werden op oorhoogte opgesteld bij de arbeiders, die de vormen keerden. Uit figuur 3 blijkt, dat het spectrum vrij vlak is met een maximum in de middenfrequenties.

3. Chocoladefabriek, afdeling Lehmann-Savy, voor het maken van niet gevulde bonbons, repen en letters van chocolade.

De werkmethode is dezelfde als bij de vorige afdeling, maar de machines zijn verder gemechaniseerd en de vormen behoeven niet gekeerd te worden.

Ook hier is de *lawaaibron* het mechanisme, dat de transportbaan in trillende beweging brengt en het klepperen van de vormen daarop. Het aantal trillingen per minuut is hier ongeveer 2000. Er heerst een fel, zeer snel trommelend *geraas* van betrekkelijk hoog, metaalachtig karakter. Verstaan van spraak is alleen enigermate mogelijk, wanneer men zich op enige meters afstand van de machines bevindt en dan nog practisch alleen door schreeuwen op ongeveer 15 cm van het oor. Indien de inkasting om de trilbanen geopend wordt is het geluidniveau daar vlak in de buurt pijnlijk luid. Ook hier zijn wanden en vloer der afdeling bekleed met tegels. De afmetingen zijn ongeveer 14 × 20 × 4 m.

De expositie aan lawaai is voor alle personen ongeveer gelijk. Ze zijn niet gebonden aan één vaste plaats bij de machine en komen regelmatig in andere, stillere afdelingen. Dit is mogelijk door de grotere mechanisatie van de apparatuur, waardoor hier ook minder bedienend personeel nodig is. Spontane oorklachten zijn er niet. Wel wordt bij navraag geklaagd over *oorsuizen*.

Omstandigheden tijdens de meting.

De microfoons werden opgesteld op de plaats, waar de sterkst geëxponeerde arbeider telkens aanwezig moest zijn om de machine te controleren en waar hij tevens het ernstigst aan lawaai bloot stond. De eerste meetserie werd verricht, terwijl slechts één van de twee aanwezige machines werkte. Tijdens de tweede meetserie werd ook de tweede machine ingeschakeld met dien verstande, dat daarbij de vormen leeg meedraaiden en niet met chocolade werden gevuld. De microfoons werden daarbij tussen de twee machines geplaatst. De derde meetserie werd een jaar later verricht onder dezelfde omstandigheden als de eerste. Het geluidspectrum volgens figuur 3 vertoont een maximum in de octaafband rond 480 Hz. Merkwaardig is de spectrumverandering, wanneer de tweede machine wordt ingeschakeld. Het maximum bij 480 Hz verdwijnt en het spectrum wordt vlak, waarbij het berekend totaalniveau practisch gelijk blijft. Bij de hermeting na een jaar valt de geluidsterkte in alle octaafbanden ongeveer 6 dB geringer uit, waarschijnlijk door een andere plaatsing van de microfoonstandaard (figuur 4).

4. Biscuitfabriek, afdeling bakkerij en wel het gedeelte, waar het biscuitdeeg aan de bandovens wordt toegevoerd.

De *lawaaibron* is het mechanisme, dat de transportband, walsrollen, steekrol, borstels, enz. in beweging brengt.

Het *lawaai* is een continu gedreun van malende machine-onderdelen, betrekkelijk laag van toon (figuur 7). De spraakverstaanbaarheid wordt in deze afdeling nagenoeg niet gestoord. De arbeiders zijn vrijwel alle gelijkelijk geëxponeerd. Ook in deze afdeling zijn geen klachten over lawaaidoofheid. Wel zijn er drie personen met een oude oorontsteking.

Omstandigheden tijdens de meting.

De microfoons werden opgesteld op oorhoogte op de plaats, waar de arbeiders betrekkelijk veelvuldig de productie moeten controleren.

5. Constructiebedrijf, afdeling ketelmakerij.

Hier worden scheepsketels, scheepsschoorstenen en dergelijke ijzer- en staalconstructies gemaakt. De onderlinge bevestiging van de onderdelen der constructie zoals platen, pijpen, balken, enz. geschiedt door klinken, stuiken, omzetten of lassen. Het stoom- of waterdicht maken van geklonken verbindingen geschiedt door koken. Dit is het opstuiken van de rand der plaat en der klinknagels, zodat deze sterk tegen de onderplaat wordt gedrukt. Bij het lassen wordt een verbinding tot stand gebracht door het doen smelten van de verbindingsplaatsen, eventueel onder het toevoegen van hetzelfde of nagenoeg hetzelfde materiaal. De voorbewerking zowel als de afwerking van de lasnaad geschiedt door hakken met een pneumatische beitel.

De *bron* van het lawaai is de luchthamer, een door samengeperste lucht aangedreven gereedschap, waarin een snel heen en weer bewegende zuiger tegen de er in geplaatste hamer of beitel slaat met een frequentie tot ongeveer 600 slagen per minuut. In principe is deze luchthamer zowel voor klinken, koken als hakken gelijk, al heeft men lichte en zware uitvoeringen met uiteenlopend aantal slagen per minuut. De trillingen van de luchthamer worden via de daarin geplaatste beitel of klinkhamer overgebracht op het werkstuk, dat daardoor op zijn beurt als geluidbron gaat fungeren.

De *aard* van het lawaai is een snel roffelend geluid van grote intensiteit, meestal van betrekkelijk hoog karakter. Het treedt op in kortdurende series van vijf tot twintig seconden met daartussen pauzen van ongeveer gelijke of langere tijdsduur. Doordat meer arbeiders tegelijk werken is bij tijden het lawaai als continu te beschouwen.

Het werk wordt hier verricht in een grote fabriekshal van 44 × 90 × 9,5 m met een lange nagalmtijd. Hierdoor is het geluidniveau, dat uiteraard het hoogst is vlakbij de lawaaibron, ook op een afstand van verscheidene tientallen meters nog in staat om een gesprek onmogelijk te maken.

De expositie aan lawaai is sterk afhankelijk van het werk, dat de arbeider verricht. Het is waarschijnlijk wel voor alle ketelmakers in de loop van hun arbeidstijd ongeveer gelijk. Ook op momenten, dat ze niet zelf lawaai veroorzaken staan ze bloot aan het hoge lawaainiveau, veroorzaakt door hun mede-arbeiders. Daar het werk meestal verricht wordt in of op een werkstuk, is er ook veel expositie aan mechanische trillingen.

In dezelfde fabriekshal wordt, behalve door ketelmakers, ook arbeid verricht door personen, die niet zelf lawaai maken, zoals plaatwalsers, zetters, boorders, grof bankwerkers, magazijnbeheerders, sjouwers, kraandrijvers, enz. Ook bevindt zich in dezelfde hal de afdeling bankwerkerij, terwijl zich op een rond de fabrieksWand lopend bordes bevinden de plaatwerkerij voor lichtmetaal, de gereedschapmakerij en de leerschool. De mate, waarin deze afdelingen bloot staan aan het geluid, neemt ongeveer af in de volgorde, waarin ze hier werden opgesomd. De leerschool is voor de hoge frequenties enigermate beschermd doordat ze zich bevindt achter een „normaalwand", bestaande uit glas en aluminium.

Bij de ketelmakers en de in hun directe omgeving arbeidende personen kunnen er zonder twijfel enkele aangewezen worden, die beginnen te lijden aan *beroepshardhorendheid*.

Omstandigheden tijdens de meting.

In een gelaste plaatijzeren scheepsschoorsteen met een diameter van ongeveer twee en een halve meter werd, terwijl de schoorsteen op de grond lag, door een arbeider met een pneumatische hakbeitel een lasrups glad weggehakt. De microfoonstandaard kon hier niet zonder meer op de arbeidsplaats worden opgesteld en werd daarom vlak voor een der uiteinden van de schoorsteen gezet, waarbij een der microfoons in de schoorsteen stak. Daar het bewerken van de lasrups spoedig ten einde was en het de bedoeling was ook de verspreiding van het geluid naar andere plaatsen in de fabriekshal te meten, werd het hakken voortgezet op los in de schoorsteen gelegde stukken plaat en balk. Voor deze gewijzigde omstandigheden werd opnieuw het geluidspectrum bepaald, waarna vervolgens de microfoonstandaard verplaatst werd naar een plaats op de rand van het bordes aan het eind van de hal, ongeveer 30 m van de geluidbron verwijderd. Tenslotte werd nog gemeten het algemene lawaainiveau in de fabriek op oorhoogte op een willekeurige plaats in de fabriekshal. Dit gebeurde tijdens schafttijd, toen slechts de halve ploeg aan het werk was en er geen bijzonder lawaaiige

werkzaamheden werden verricht. Uit figuur 5 en 6 blijkt, dat de gemeten lawaaispectra voor de octaven van 960 Hz en hoger een maximum bereiken. Het algemene lawaainiveau in de fabriek, wanneer er niet gewerkt wordt met pneumatische werktuigen, is maximaal voor de drie middenoctaven.

6. Sigarettenfabriek, afdeling sigarettenmachines.
Hier worden, geheel machinaal, uit tevoren op de juiste manier gesneden tabak volledig afgewerkte sigaretten geproduceerd.

Als *lawaaibron* is hier geen speciaal onderdeel van de zes machines aan te wijzen. Er zijn talrijke bewegende delen, zoals schudbodems, tabakverdelers, lopende bandjes, messen, enz.

De *aard* van het lawaai is een continu geraas zonder opvallende componenten en met een matighoog karakter. Het luidheidniveau is op het gehoor gelijk over de gehele afdeling, die 8,5 × 27 × 5 m meet. Spraakverstaan is, bij flinke stemverheffing, mogelijk op 50-75 cm onderlinge afstand. Alle in deze afdeling werkzame personen zijn nagenoeg op dezelfde wijze geëxponeerd aan het lawaai. Klachten over doofheid zijn er niet.

Omstandigheden tijdens de meting.

De microfoons werden op oorhoogte tussen twee sigarettenmachines opgesteld op de arbeidsplaats van één van de meisjes. Een tweede meetserie werd verricht bij het schrijfbureau van de afdelingsjuffrouw. Dit bevindt zich ongeveer op tien meter afstand van de dichtst bijzijnde machine. Het geluidspectrum is weergegeven in fig. 8.

7. Fabriek van electrische motoren, afdeling dynamoblikponserij.
Uit platen blik worden schijven en ringen gesneden. Deze worden daarna aan de randen voorzien van openingen. Dit gebeurt op twee manieren. Ten eerste doordat de openingen stuk voor stuk geponst worden in zeer snel tempo, ten tweede doordat de openingen alle tegelijk ineens geponst worden. De *lawaaibron* is hier voornamelijk de snelwerkende machine („rikketik").

De *aard* van het lawaai is sterk afhankelijk van de snelheid van de machine. Bij kleine, lichte plaatjes en kleine stempels kan de ponsmachine sneller werken en wordt het geluid feller en onaangenamer. Telkens als de serie gaten in één plaatje geponst is, is er een kleine pauze, die echter zeer kort is en nooit langer duurt dan de periode van het lawaai. Door het tegelijk werken van vijf à vijftien machines is er een betrekkelijk continu, maar toch telkens van karakter veranderend lawaai. De langzaam werkende ponsmachine, die van elk plaatje in één slag alle gaten ponst, geeft een regelmatig, ongeveer elke drie seconden terugkerende luide, maar doffe bons, die het algemene lawaainiveau niet duidelijk beïnvloedt en hier alleen telkens vooral lage tonen inmengt. Het spraakverstaan is op een willekeurige plaats, temidden van de machines en bij volledige bezetting daarvan, bij flinke stemverheffing mogelijk op een onderlinge afstand van ongeveer 15 cm. Gedurende de periode van het ponsen is het lawaainiveau bij het oor van de arbeiders aan de rikketik zodanig hoog, dat men zich alleen door luid schreeuwen aan het oor enigszins verstaanbaar kan maken.

De ponsmachines staan opgesteld in het middenvak van een 80 m lange, 20 m brede en 6 m hoge fabriekshal, waarin het lawaainiveau op enige afstand van de machines, snel afneemt. Elke arbeider heeft zijn vaste werk aan een bepaalde machine, zodat de lawaai-expositie verschillend is. De arbeider aan de rikketik staat bloot aan het hoogste lawaainiveau van de afdeling. Er zijn geen klachten over lawaaidoofheid.

Omstandigheden tijdens de meting.

De microfoons werden tussen de kleine ponsmachines opgesteld met een der microfoons zo dicht mogelijk bij het oor van een der zittende arbeiders. Het lawaai-spectrum volgens figuur 9 vertoont, behalve voor de allerlaagste en de allerhoogste octaven, een vrijwel vlak verloop.

8. Meetinstrumentenfabriek, afdeling automatische draaibanken.
Hier worden uit meestal koperen stangen allerlei producten als bouten, schroeven, pennen, tandwielen e.d. gedraaid op automatische draaibanken.

De *lawaaibron* is hier, behalve de bewerking zelf als het frezen, snijden, enz. ook de machine met zijn bewegende delen.

De *aard* van het lawaai is een continu gedreun met af en toe een sterk gieren van een steekbeitel. Spraakverstaan is slechts mogelijk met flinke stemverheffing. De afdeling is, voor de ongeveer twintig machines die er staan, erg klein, namelijk 35 × 5,5 × 3,5 m. Het lawaai is onregelmatig over de afdeling verspreid, daar niet alle banken tegelijk werken. De expositie aan het lawaai is, gerekend over hun hele werktijd, vrijwel voor alle personen gelijk te achten. Klachten over doofheid door lawaai zijn in deze afdeling niet.

Omstandigheden tijdens de meting.

De microfoons werden temidden van de draaibanken opgesteld met één ervan dichtbij het oor der betreffende arbeider. Het geluidspectrum (figuur 9) vertoont een maximum in de octaven rond 480 en 960 Hz. De fluittoon van de platte beitel komt tot uiting in de meting van het octaaf rond 3840 Hz.

9. Meetinstrumentenfabriek, afdeling „Inka" aluminium-spuitgietmachine.

Hier worden door spuitgieten onderdelen en aanzetstukken voor stofzuigers en dergelijke geproduceerd.

De *lawaaibron* bestaat uit het telkens ontsnappen van de gecomprimeerde lucht, die gebruikt wordt om de twee spuitgietmachines te bedienen. Een belangrijke bijdrage tot verhoging van het algemene niveau wordt geleverd door de luchtcompressor, die in dezelfde afdeling opgesteld staat en enkele uren per dag werkt, en ook door de ventilatoren.

De *aard* van het lawaai is dreunend en rommelend met periodiek hierbij het ontsnappen van gecomprimeerde lucht. De expositie aan het lawaai der sissende perslucht is het sterkst voor de twee arbeiders aan de spuitgietmachines. Het lage rommelende, algemene lawaainiveau is op het oor gelijk over de hele afdeling (30 × 10 × 4,5 m).

Het verstaan van spraak wordt in deze afdeling practisch niet gestoord. Klachten over lawaaidoofheid komen er niet voor.

Omstandigheden tijdens de meting.

De microfoons werden zo dicht als met de werkomstandigheden mogelijk was opgesteld op oorhoogte bij de arbeidsplaats aan een van de spuitgietmachines. Het lawaaispectrum volgens figuur 10 is duidelijk afwijkend van alle vorige, daar het een uitgesproken maximum heeft in de octaafband van 120 Hz. Afzonderlijk is ingetekend het niveau tijdens het ontsnappen van de perslucht, hetgeen een sterke toename van de hoge tonen tengevolge heeft.

10. Scheepswerf.

Bij de scheepsbouw worden de ijzeren delen als spanten, platen en steunen voorzien van gaten door boren of ponsen. Dit gebeurt meestal tevoren in een scheepsbouwloods. Deze onderdelen worden samengevoegd en voorlopig onderling verbonden met bouten door de ijzerwerkers. De definitieve verbinding geschiedt door klinken of lassen. In beide gevallen is een voorbewerking nodig, namelijk bij het klinken het ruimen der gaten, bij het lassen het hakken van een lasgoot. Deze werkzaamheden gebeuren door de boorders, respectievelijk de hakkers, met pneumatische werktuigen. Bij het klinken wordt telkens een tevoren door de nagelheter in een nageloventje (een aangeblazen kolenvuurtje) roodgloeiend verhitte klinknagel door een insteker in de op elkaar aansluitende gaten van bijvoorbeeld twee platen gestoken. De aanhouder zet een zware ijzeren knots (dolly) tegen de zetkop van de nagel. De klinker, die aan de andere kant van de plaat zit, geeft met de klinkhamer enige slagen op de plaat naast de nagel om te maken, dat deze goed stijf in het gat gedrukt zit, waarna hij het door de plaat stekende nageleinde uithamert tot een platte kop (sluitkop). Nadat een sectie van het schip geklonken is, worden de verbindingen water- of stoomdicht gemaakt door de randen van de platen te koken, zoals reeds werd beschreven. De bij lasverbindingen ontstane lasnaden worden bijgewerkt door pneumatisch weghakken. Bij reparaties worden te vervangen delen door branden of hakken weggesloopt door branders, ijzerwerkers of slopers.

Uit bovenstaande beschrijving volgt, dat kokers, klinkers en aanhouders steeds het dichtst bij het lawaai zijn. Ze doen bovendien zelden ander werk. Arbeiders uit de andere groepen nemen vaak onderling elkanders werk waar, zodat bijvoorbeeld boorders tijdelijk aanhouden of ijzerwerkers tijdelijk nagelheten. Zij werken over het algemeen vlak in de buurt van de klinkers en de kokers. Een nauwkeurige lawaai-anamnese is hier niet mogelijk. Daarbij komt, dat bijvoorbeeld een klinker dit werk nooit van meet af aan te doen krijgt, maar eerst een tijd ijzerwerker, nagelheter en tenslotte aanhouder is geweest. Iemand, die een half jaar klinker is, heeft dus een veel langere lawaai-expositie achter de rug.

Alle arbeiders, die meer of minder vaak arbeid aan boord moeten verrichten tijdens aanbouw of herstel, staan van tijd tot tijd bloot aan grote geluidintensiteiten (pijpenleggers, timmerlui, bankwerkers, lassers, branders, enz.).

Over de *lawaaibron* en de *aard* van het lawaai werd reeds gesproken bij de beschrijving van de ketelmakerij.

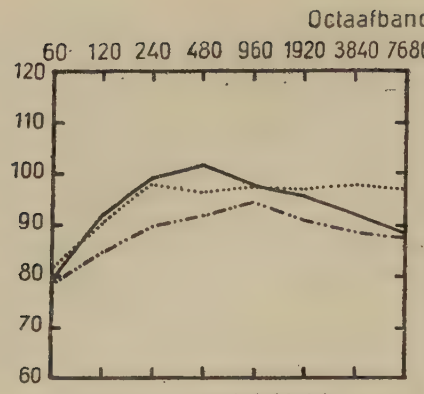
Lawaaidoofheid bij ketelmakers en klinkers is een klassiek begrip. Vrijwel alle arbeiders, die langer dan tien jaar dit werk gedaan hebben, zijn min of meer hardhorend.

Omstandigheden tijdens de meting.

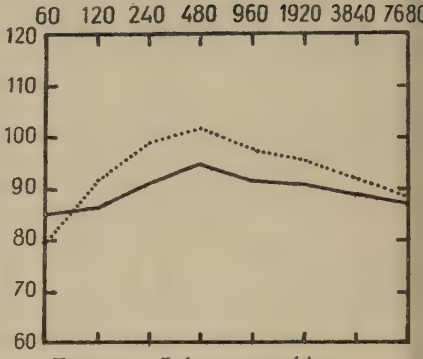
Metingen werden verricht vlak bij het oor van een koker, vlak bij het oor van een klinker en tenslotte in het ruim, onder het dek dat geklonken werd. Dit laatste is het niveau, waaraan vooral de aanhouder, gedeeltelijk de insteker en soms ook de nagelheter bloot staat. Uit figuur 11 blijkt, dat we bij al deze bewerkingen te doen hebben met een ongeveer vijf decibel per octaaf oplopend lawaaispectrum met het maximum in het octaaf van 2000 Hz. De niveau's voor koken en klinken lopen weinig uiteen en gelijken op het spectrum, dat gevonden is in de ketelmakerij.

	Octaafband-middens in Hz								Totaal niveau			Hoogste octaafband waarde		Mc Grath code No	DRC
	60	120	240	480	960	1920	3840	7680	in dB	in soon	in foon	dB	soon		
Chocoladefabriek															
1e etage; Enrobeuse-machines	81,5	87	88	84,5	81,5	77	74	76	92,5	150	105	88	27	10	O
2e etage; Praletta-machines	78,5	85	90	92	94,5	91	88,5	87,5	99,5	320	115	94,5	74	12	?
3e etage; Lehmann- machine alleen	79,5	92	99	102	98	95,5	92	88,5	106	500	121	102	117	13	S
Lehmann- en Savy-machine	81,5	91	98	96,5	97,5	97	98	97	105,5	600	123	98	185	14	S
Lehmann-machine alleen (2e meting, 1 jaar later)	85	85,5	91	95	91,5	90,5	89	87	99,5	325	115	95	74	12	?
Biscuitbakkerij	67,5	74,5	81,5	86	87	77,5	71	68	90,5	125	103	87	37	10	O
Constructiebedrijf															
Zware plaatwerkerij; lasrups weghakken (1 man)	79	86,5	95	96	98	102,5	106,5	104,5	110	1060	131	106,5	500	15	S
Idem; zelfde bewerking op losse plaat (2 man)	82,5	91,5	99	105	105	107	104	102,5	112	1070	131	107	340	15	S
Idem; niveau op bordes tijdens vorige bewerking	78,5	89,5	96	104	105	103	98	89,5	109,5	770	127	105	250	14	S
Idem; algemeen niveau, wanneer geen bijzonder lawaaiig werk wordt verricht	63,5	74	79,5	77,5	79,5	76,5	72,5	70	85	100	100	79,5	21	10	O
Sigarettenfabriek															
Afdeling sigaretten-machines; meting tussen de machines	71	77,5	79,5	79	81	75,5	71,5	70,5	86,5	105	101	81	23	10	O
Idem; meting bij het bureautje van de zaal-controleuse	73,5	78,5	79	78	79	74,5	71	69	85,5	100	100	79	20	9	O
Electromotorenfabriek															
Ponserij	71,5	80,5	83	82	85	82	77	66	90	145	105	85	32	10	O
Meetinstrumentenfabriek															
Afdeling automatische draaibanken; normaal niveau	72,5	78,5	81	84,5	84,5	81	79	80	90,5	150	105	84,5	31	11	O
Idem; tijdens de bewerking met een steekbeitel	72,5	78,5	81	84,5	84,5	82	86	80	91,5	180	108	86	54	11	O
Spuitgiet-afdeling; normaal niveau (compressoren)	84,5	92,5	88,5	84	79	82,5	79	61,5	95	175	107	92,5	33	10	O
Idem; tijdens het ontsnappen van perslucht	87,5	94,5	88,5	84	83	85,5	84	88,5	97,5	240	111	94,5	45	12	O
Scheepswerf															
Koken	81	93	95,5	99,5	101,5	106,5	105,5	104,5	111,5	1100	131	106,5	450	15	S
Klinken	85	93,5	98	95,5	102,5	109,5	107	105	113	1400	134	109,5	600	15	S
In het ruim onder het dek, waaraan geklonken wordt	87	98	98,5	102,5	109	112	112	109	117	2100	140	112	1000	16	S

DRC = Deafness Risk Criterion; O = onschadelijk; ? = grensgeval; S = schadelijk

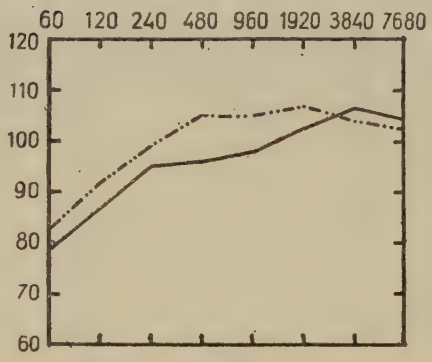


FIGUUR 3 - Chocoladefabriek.
(getrokken) Lehmann-machine;
(gestippeld) Lehmann- en Savy-machine;(gebroken)Praletta-machine.

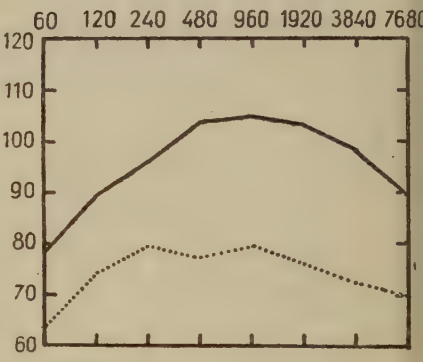


FIGUUR 4 - Lehmann-machine.
(gestippeld) eerste meting;
(getrokken) tweede meting.

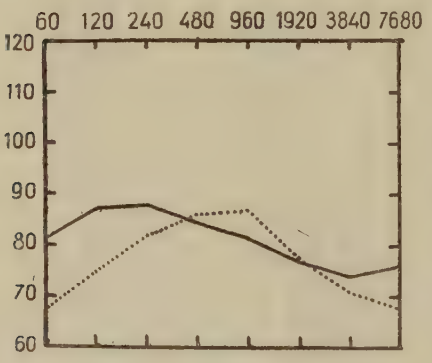
Octaafniveau in dB boven 0,0002 µbar



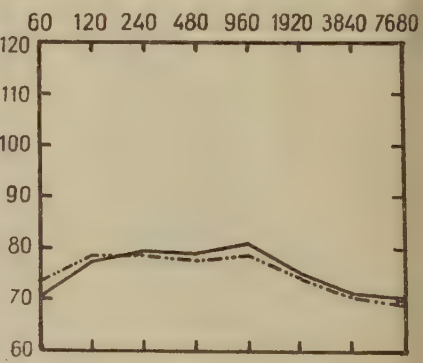
FIGUUR 5 - Zware plaatwerkerij.
(getrokken) een hakker;
(gebroken) twee hakkers.



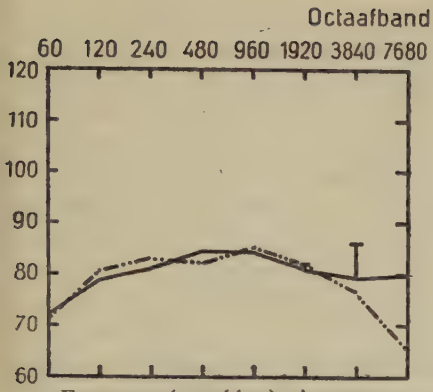
FIGUUR 6 - Zware plaatwerkerij.
(getrokken) op het bordes;
(gestippeld) algemeen niveau zonder lawaaiig werk.



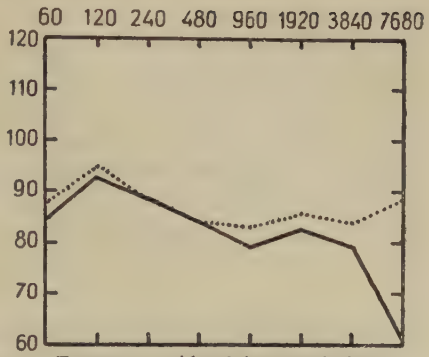
FIGUUR 7 - (getrokken) Enrobeuse-afdeling;
(gestippeld) Biscuitbakkerij.



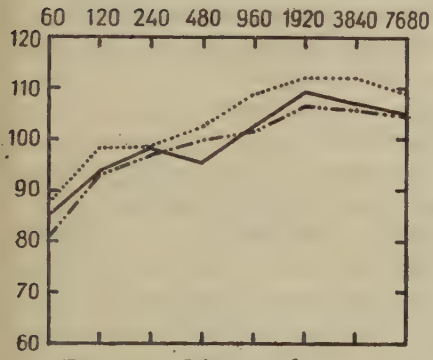
FIGUUR 8 - Sigarettenmachines.
(getrokken) tussen de machines;
(gebroken) bij bureau zaalcontroleuse



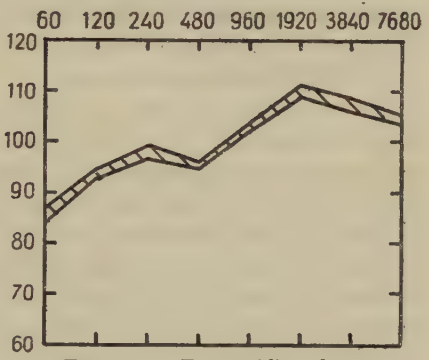
FIGUUR 9 - (getrokken) Automatenafdeling; (gestippeld) Ponserij.



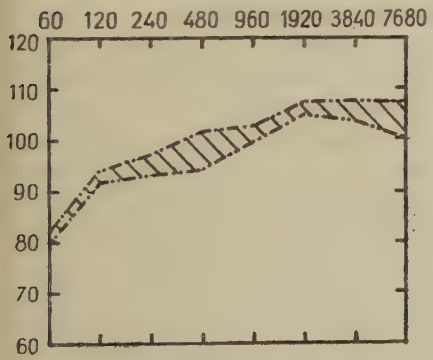
FIGUUR 10 - Aluminium spuitgietafdeling. (getrokken) algemeen niveau, compressoren; (gestippeld) ontsnappende perslucht.



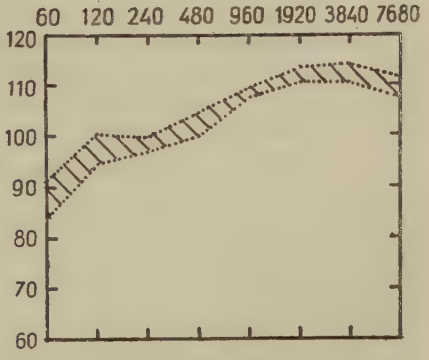
FIGUUR 11 - Scheepswerf.
(getrokken) klinken;
(gebroken) koken;
(gestippeld) in 't ruim tijdens klinken.



FIGUUR 12 - De spreiding der waarnemingen bij het klinken.



FIGUUR 13 - De spreiding der waarnemingen bij het koken.



FIGUUR 14 - De spreiding der waarnemingen in het ruim.

Hoofdstuk IV

EIGENSCHAPPEN EN FUNCTIE-ONDERZOEK VAN DE GEHOORZIN

Het vermogen van het normale menselijke oor om geringe geluidintensiteiten nog juist waar te nemen is niet voor alle frequenties gelijk. De grootste gevoeligheid bestaat voor het gebied tussen 1000 en 4000 Hz. Naarmate men hoger of lager komt is meer geluidenergie nodig om de toon hoorbaar te maken. Het geringste aantal trillingen, dat nog als geluid en niet uitsluitend als trillende beweging wordt ervaren, bedraagt volgens Von Békésy 18 p/sec. De hoogste waarneembare tonen hebben een trillingsgetal van ongeveer 20 000.

De toonhoogte-gewaarwording hangt ten nauwste samen met het aantal trillingen per seconde, maar is bovendien in geringe mate afhankelijk van de geluidintensiteit. Tonen van minder dan 2000 Hz klinken lager naarmate ze luider zijn. Bij hogere tonen is het andersom.

Ook bij afwijkingen aan het binnenoor kan de relatie tussen frequentie en toonhoogte-sensatie veranderen. Het onderscheidingsvermogen van kleine toonhoogte-verschillen, dus de kleinste verandering der frequentie die waarneembaar is, bedraagt onder optimale omstandigheden voor tonen van 500 Hz en hoger ongeveer 3 $^0/_{00}$ van de frequentie, voor tonen van 60-500 Hz ongeveer 2,5 Hz en voor tonen lager dan 60 Hz ongeveer 4% van het aantal trillingen. Het aantal verschillende toonhoogten, dat kan worden waargenomen, bedraagt dientengevolge maximaal 1500 à 1800. Dit aantal vermindert bij afname van de geluidsterkte.

De luidheid, de subjectieve indruk van de sterkte van geluid, neemt weliswaar altijd toe als de geluiddruk hoger wordt, maar niet voor alle frequenties op dezelfde wijze. Men drukt het luidheidniveau uit in „foons", waarbij het aantal foons gelijk is aan de sterkte in decibels (boven 0,0002 μbar) van een 1000 Hz-toon, die even luid klinkt. Zo heeft dus een toon of een geruis van 90 foon hetzelfde luidheidniveau als een 1000 Hz-toon van 90 dB. De omschrijving van het luidheidniveau in foons leent zich niet voor eenvoudige additieve berekeningen. Luidheidniveau's van twee verschillende tonen of van twee door verschillende octaafband-filters doorgelaten lawaaibanden laten zich niet door optelling samenvoegen tot een totaal luidheidniveau. Men voerde daarom een eenheid voor luidheid in en noemde deze de „soon". De totale luidheid van een complex geluid is gelijk aan de som van de luidheden van de

componenten, uitgedrukt in soons. 1 Soon is de luidheid van een 1000 Hz-toon 40 dB boven de drempel.

Hoewel de soon in de audiologie practisch niet wordt gebruikt, wordt hij voor luidheidbepalingen van industrielawaai veelvuldig toegepast, ondanks dat deze eenheid geen exacte maat is. De mens heeft geen exact maatgevoel voor luidheid. Het is echter door het gebruik van de soonschaal volgens Beranek c.s. en Mintz & Tyzzer mogelijk om uit het octaafband-spectrum van een lawaai de totale luidheid daarvan te berekenen. De luidheden in soons van de afzonderlijke octaven kunnen eenvoudig bijeengeteld worden. Deze som kan, als men wil, weer omgezet worden in een luidheidniveau in foons.

Het onderscheidingsvermogen van het oor voor verschillen in geluidsterkte, dus de kleinste verandering in geluidsterkte, die waarneembaar is, varieert van enkele decibels vlak bij de gehoordrempel tot ½ dB bij 80 dB. Het is het beste in het gebied van de grootste toondrempel-gevoeligheid, namelijk rond 2500 Hz.

Andere facetten van het horen, zoals de afhankelijkheid van toonhoogte en luidheid van de duur van de toon, het richting-horen, enz. kunnen hier buiten beschouwing blijven.

Maskering

De gehoordrempel van een zuivere toon wordt verhoogd, wanneer gelijktijdig een ander geluid van voldoende intensiteit inwerkt. Men drukt de mate van deze „maskering" uit in het aantal decibels drempelverhoging. Er bestaat tussen de maskerende werking en de sterkte van het storende geluid een lineair verband, indien men beide uitdrukt in decibels. Een maskerende zuivere toon oefent meer invloed uit op de drempel van hogere dan van lagere frequenties dan die toon zelf. De sterkste maskering treedt op voor frequenties in de buurt van de maskerende toon. Ze kan volledig zijn, wanneer de maskerende toon minstens 10 à 20 dB sterker is dan de gemaskeerde. Een 1000 Hz-toon met een sterkte van 60 dB wordt gemaskeerd door een 800 Hz-toon van 80 dB, maar door een 1200 Hz-toon van 100 dB. Een 600 Hz-toon van 80 dB zal de bovengenoemde 1000 Hz-toon niet maskeren. Ook toevoeging van meer lage tonen van 80 dB geeft geen summatie van de maskerende werkingen; de 1000 Hz-toon van 60 dB blijft hoorbaar.

Wanneer een toon gemaskeerd wordt door een witte ruis of een complex lawaai, geschiedt in overeenstemming hiermee de eigenlijke maskering slechts door een smalle band, waarvan de frequentie van de gemaskeerde toon het centrum is. Een toevoegen van geluidenergie met frequenties, die buiten deze band liggen, heeft geen invloed op de drempelverandering van de gemaskeerde toon. Deze „critische banden" zijn in het gebied van 100-700 Hz ongeveer 50 Hz breed en boven 1000 Hz zijn ze ongeveer zo breed als 10% van hun centrale frequentie

(Kryter). Ze nemen in anatomische zin op het basilaire membraan nagenoeg gelijke afstanden in van 2% van de totale lengte.

Bij een lawaai met het karakter van een ruis, zoals industrielawaai en het geraas in de cabine van een vrachtauto, wordt het totale geluidniveau bepaald door de sterkte van alle afzonderlijke critische banden. Van een signaal met een uitgesproken toonkarakter, zoals een fluit, wordt het niveau voornamelijk bepaald door één frequentie. Zulk een signaal zal door een ruis-achtig lawaai pas gemaskeerd worden, wanneer in dat lawaai het niveau van de critische band rond de frequentie van het signaal 10 dB hoger is dan de intensiteit van dat signaal. Is het echter lager, dan blijft het signaal hoorbaar, ondanks dat het totale niveau van het maskerende lawaai dan wel hoger kan zijn. Spraak heeft een vrij breed frequentiespectrum en wordt daarom gemakkelijker gemaskeerd dan een fluittoon. Dit verklaart waarom sommige betrekkelijk zwakke signalen nog goed onderkend worden in een lawaai, waar het verstaan van een gesprek onmogelijk is. Daardoor kan de chauffeur van een vrachtauto hoornsignalen van anderen horen en wordt muziek nog gevolgd in fabrieksafdelingen met lawaainiveau's van 95 dB.

Neemt men een toondrempelaudiogram op met en zonder maskering door een industrielawaai, dan kan men zich uit het verschil een oordeel vormen over de sterkte en de samenstelling van het lawaai, wanneer men de maskerende werking van de verschillende critische banden rond de gemeten frequenties kent (Fletcher). Wellicht leent het nog te bespreken continue audiogram zich hiertoe beter dan het gebruikelijke octaafaudiogram, omdat men daarbij niet afgaat op de resultaten bij enkele, vrij willekeurig gekozen frequenties.

Onderzoekmethodes van de hoorfunctie

Behalve ziekelijke veranderingen van de gehoordrempel voor een groter of kleiner deel van het frequentiegebied kennen we verschillen in tolerantie voor intensieve geluiden, stoornissen in het herkennen van toonhoogte, afwijkingen in de luidheidsensatie en een slechter horen in een omgeving met storende geluiden, welke afwijkingen ook bij de beroepshardhorendheid kunnen voorkomen.

De bedrijfsarts kan voor het onderzoek van het gehoor gebruik maken van de fluisterstem, de conversatiespraak, stemvorken en de audiometer. Dit laatste instrument is voor een moderne bedrijfsgeneeskundige dienst onontbeerlijk, daar het gehooronderzoek met fluisterstem en spraak alleen bruikbaar is voor een allereerste oriëntering over het al of niet aanwezig zijn van een groot gehoorverlies, terwijl het stemvorkonderzoek tijdrovender, onnauwkeuriger en beperkter is dan de audiometrie.

Bij het gewone, niet audiometrische gehooronderzoek bepaalt men de afstand, waarop de gesproken woorden correct worden verstaan of het tikken van een horloge wordt gehoord. Het fluisteren moet geschieden

met de reservelucht, dat wil zeggen na een gewone uitademing. Het te onderzoeken oor wordt naar de spreker gericht, het afgewende dicht gehouden. In de conversatiespraak hebben de lage, in de fluisterspraak de hogere frequenties relatief de grootste energie. Daardoor kan men zich een oordeel vormen over de gehoorscherpte voor bas- en discantzijde afzonderlijk. Ook kunnen prikkelwoorden van hoog en laag toonkarakter gebruikt worden, zoals Zwaardemaker en Quix hebben aangegeven. „Zes" heeft bijvoorbeeld een hoog karakter en is normaal hoorbaar op 30 m, voor het lage „moe" is dit 6 m. Het tikken van een horloge is geluid van voornamelijk hoge frequenties rond 4000 Hz.

Theoretisch neemt de geluidintensiteit af met het kwadraat van de afstand, zodat van een horloge op 50 cm afstand het oor vier maal meer geluidenergie opvangt dan van hetzelfde horloge op 100 cm afstand. Zwaardemaker vond dat dit niet klopte. Met Quix stelde hij empirisch hiervoor vast de 1,2de macht in plaats van het kwadraat, als gevolg van de reflectie van wanden, plafond en vloer van de onderzoekruimte. Ook Fowler, Harris en anderen vonden onberekenbare intensiteitveranderingen bij variatie van de afstand, behalve door reflectie ook veroorzaakt, doordat de sprekers niet in staat blijken om een constante fluisterintensiteit te handhaven.

Met stemvorken bepaalt men de gevoeligheid voor de toon, die de stemvork geeft, naar de tijd die verloopt tussen het aanslaan en het moment, dat de onderzochte aangeeft de toon niet meer te horen. Het aanslaan dient daarom zoveel mogelijk met dezelfde kracht te gebeuren en de stemvork moet steeds op dezelfde wijze bij het oor gehouden worden. Dit is alleen mogelijk met stemvorken met geijkte uitklinktijd zoals van onze landgenoot Struycken.

De gehoorscherpte voor hoge en lage tonen is op deze wijze afzonderlijk te meten.

Met de stemvorken kreeg men bovendien een methode om geleidingsdoofheid en perceptiedoofheid te onderscheiden. Daar de lawaaidoofheid een typische perceptiedoofheid is, is dit voor het onderzoek van de beroepshardhorendheid van belang. Door de steel van de stemvork op het mastoid te plaatsen brengt men de geluidtrilling via het skelet, door de zogenaamde beengeleiding, met slechts geringe medewerking van het trommelvlies en de gehoorbeentjesketen, direct over op het eigenlijke gehoorzintuig, het binnenoor. Men vergelijkt de beengeleiding van het onderzochte oor bij de proef van Schwabach met de beengeleiding van de normale onderzoeker, bij de proef van Rinne met de luchtgeleiding van het onderzochte oor en bij de proef van Weber met de beengeleiding van het andere oor van de onderzochte (lateralisatie). De grootte van de gehoorafwijking is dus niet of moeilijk te bepalen. De maskerende werking, die het stoorniveau in de onderzoekkamer heeft via de luchtgeleiding, kan zowel bij de proef van Weber als bij die van Schwabach de uitkomsten beïnvloeden.

De fundamentele eigenschappen van de audiometer bestaan hierin, dat het mogelijk is om via een hoofdtelefoon of een beentriller hoorbare tonen op te wekken, waarvan de sterkte regelbaar is tot onhoorbaar zwak toe. De beentriller is nodig voor het gehooronderzoek via de beengeleiding.

De electronische audiometer heeft vele voordelen boven de besproken methodes:

1. Stemvorken heeft men slechts voor enkele frequenties, meestal enige octaven van de C-reeks. De audiometer kan alle hoorbare frequenties geven.

2. Stemvorken voor hoge tonen, boven 2000 Hz, zijn moeilijk zodanig te construeren, dat ze lang genoeg doorklinken. De hoogste, nog enigszins bruikbare frequentie is $c_5 = 4092$ Hz. Bij het onderzoek van hogere tonen met Galtonfluitje of monochord is regeling van de intensiteit niet mogelijk. De audiometer kan ook deze hoge tonen produceren in regelbare sterkte.

3. Stemvorken trillen na het aanslaan uit volgens een voor elke afzonderlijke stemvork andere decrementie-curve. Zelfs voor stemvorken van gelijk trillingsgetal kan de wijze van uitklinken verschillend zijn. De curve is niet een eenvoudige functie van de tijd; het geluid sterft niet regelmatig en geleidelijk weg. De toon van de audiometer echter kan onbepaald lang op elke gewenste sterkte tussen onhoorbaar en pijnlijk luid gehandhaafd blijven. Deze sterkte is bovendien steeds weer te reproduceren.

Zowel het hier beschreven onderzoek met spraak en stemvorken als het audiogram zijn alle drempelbepalingen. Men bepaalt wat de onderzochte nog net hoort, maar hoe hij hoort boven de drempel wordt niet of nauwelijks nagegaan. Hiervoor zijn echter in de laatste jaren onderzoekmethodes uitgewerkt, terwijl anderzijds met spraakaudiometrie het verstaan van spraak wordt onderzocht. Doordat de perceptiestoornis bij lawaaitrauma partiëel is en het verschijnsel van regressie vertoont, zijn deze onderzoekmethoden voor de beroepshardhorendheid van groot belang.

De normale gemiddelde gehoordrempel voor zuivere tonen voor jonge volwassenen is in de grafische voorstelling van figuur 18 weergegeven als functie van toonfrequentie en geluidsterkte.

Principieel zijn er twee methodes mogelijk om de gehoordrempel voor zuivere tonen audiometrisch te bepalen:

1. Bij gelijkblijvende frequentie wordt de sterkte gevarieerd, hetgeen telkens voor een andere frequentie wordt herhaald.

2. Bij gelijkblijvende sterkte wordt de frequentie gevarieerd, hetgeen telkens voor een ander sterkteniveau wordt herhaald.

Bij de eerste methode stelt men de audiometer op de gewenste frequentie in. Men voert de intensiteit zodanig op, dat de onderzochte de toon goed waarneemt. Daarna verzwakt men de toon tot hij niet meer gehoord wordt. Als men nu de sterkte weer laat toenemen, dan is het punt waar het geluid juist weer wordt waargenomen de gezochte drempel. Men doet eerst een grove bepaling met grote stappen heen en weer en daarna een nauwkeurige met de kleinste variaties, die de audiometer toelaat. Neemt men als drempel het punt waar de toongewaarwording verdwijnt, dan zal men onjuiste waarden vinden, die soms 10-15 dB te laag zijn. In de praktijk wordt de drempel gemeten bij 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 en 8000 Hz. Men spreekt daarom van het octaafaudiogram. Men begint de drempelbepaling voor een toon van 1000 Hz, daarna neemt men de hogere en vervolgens de lagere tonen. Soms wordt het onderzoek aangevuld met de halve octaven boven 1000 of 2000 Hz.

De tweede methode staat bekend als het *continue audiogram*.

Holmgren, Bunch en Van Dishoeck hebben onafhankelijk van elkaar het principe beschreven, maar alleen de laatste heeft de grote voordelen voor de praktijk en vooral voor het opsporen van het beginnende lawaaitrauma duidelijk ingezien.

Voor het opnemen van een continu drempelaudiogram gebruikt men een audiometer, waarvan de frequentie-instelling continu variabel is. Men gaat als volgt te werk: Bij een frequentie van ongeveer 1000 Hz wordt de sterkte ingesteld op 40 dB boven de vermoedelijke gehoordrempel. Daarna laat men bij gelijke stand van de sterkteregelknop de frequentie toenemen tot geen toon meer wordt waargenomen. Bij terugdraaien der frequentieregelknop vindt men een punt, waar opnieuw een toon wordt waargenomen. Dit is de drempelwaarde. Door twee- of driemaal vlug herhalen van toe- en afneming der frequenties in de buurt van de drempelwaarde kan snel de correcte waarde gevonden worden. Men vermindert nu de sterkte in stappen van 10 dB en herhaalt voor elke stap de beschreven procedure met dien verstande, dat men de frequentievariaties niet groter neemt dan nodig is. Als tenslotte een sterkte-instelling is bereikt, waarbij de onderzochte geen enkele toon hoort, dan gaat men over tot de sterkere niveau's boven 40 dB. Heeft men aldus de discantzijde van het audiogram volledig bepaald, dan herhaalt men dezelfde procedure voor de baszijde. Voor het bepalen van de drempelcurve voor de beengeleiding gelden dezelfde voorschriften.

De voordelen van het continue audiogram boven het octaafaudiogram zijn de volgende:

1. Met deze methode worden alle frequenties onderzocht. Met het octaafaudiogram bepaalt men slechts van enkele tonen de gehoordrempel. Het is voor de lawaaidoofheid echter van groot belang nauwkeurig over de drempelcurve ingelicht te zijn. Voor de vroege diagnose mogen kleine dips niet over het hoofd gezien worden, voor de beoor-

deling van de spraakverstaanbaarheid is de juiste plaats, waar de dip begint, belangrijk. Men zou bij de octaafmethode de frequentie-intervallen dus veel smaller moeten nemen en wel, zoals in hoofdstuk 7 zal blijken, minstens kwart octaven, waardoor het aantal bepalingen groot, de methode tijdrovend en voor de patiënt zeer vermoeiend wordt.

Bij de continue methode meet men weliswaar ook niet van elke frequentie de drempel, maar men weet dat voor elke toon, die op een bepaald niveau nog gehoord wordt, geen grotere drempelverhoging kan bestaan dan de hoogte van dat niveau bij die frequentie boven de nullijn.

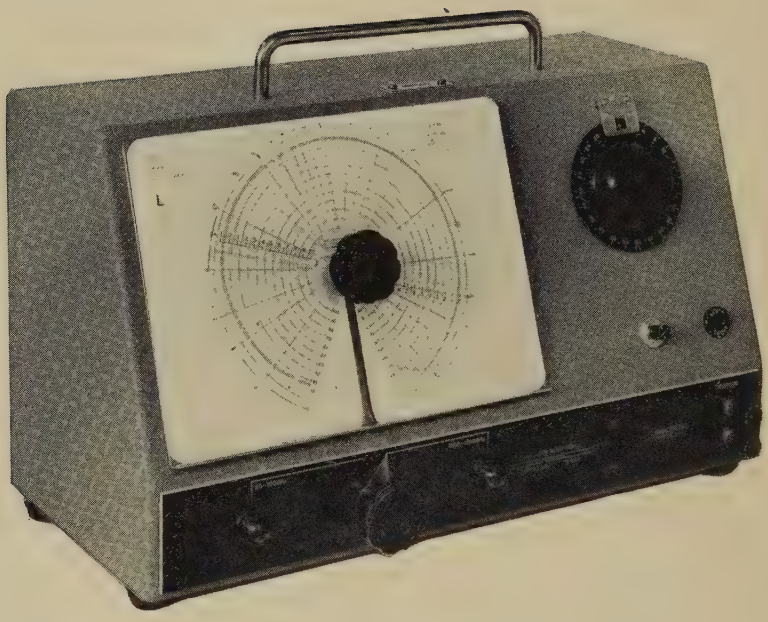
2. De gehoordrempel wordt sneller en juister vastgesteld, daar een van frequentie veranderend geluid eerder en gemakkelijker wordt waargenomen dan een toon van gelijkblijvende frequentie en wisselende sterkte. Ook kleine dips kunnen eenvoudig, snel en nauwkeurig bepaald worden.

Juist voor de vroege diagnose en de snelle opsporing bij grote groepen personen biedt de continue methode grote voordelen boven de octaafaudiometrie. Men weet niet van tevoren, welke frequentie het eerst getraumatiseerd wordt. Trauma betekent echter drempelverhoging. Stelt men nu de grens tussen al of niet belangrijke schade op bijvoorbeeld 15 dB, dan kan men met een audiometer, die alle frequenties aanbiedt op een sterkte die 15 dB boven de normale drempelcurve ligt, met een enkele draai van de frequentieregelknop weten of er een defect is en waar het zich bevindt.

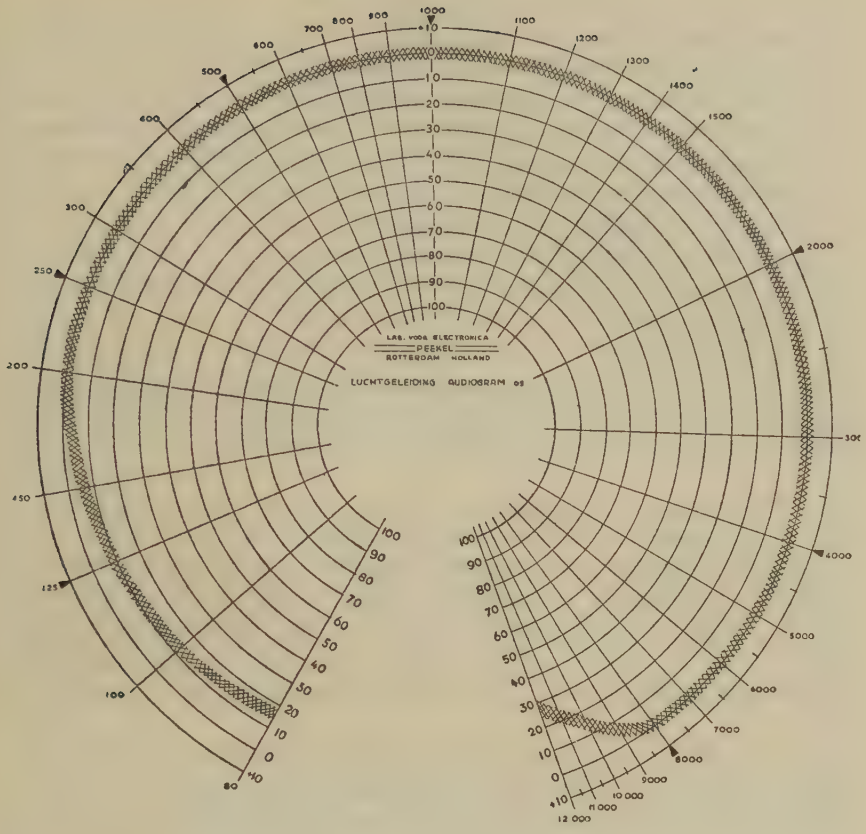
Technisch is dit thans op twee manieren tot oplossing gebracht:

a. De Engelse Peters audiometer, type S.P.D. 2: De intensiteit van de geproduceerde toon wordt behalve door de sterkteregelknop ook mechanisch „bijgeregeld" tijdens het draaien aan de frequentieregelknop. Deze mechanische oplossing, die mogelijk werd als bijproduct van een voorlopig unieke continu variabele sterkteregeling, heeft het bezwaar van niet volkomen geluidloos te werken en zeer vermoedelijk aan slijtage onderhevig te zijn.

b. De onder leiding van Van Dishoeck in Leiden ontwikkelde Nederlandse Peekel-audiometer, die door middel van een perfecte telefoon en een electrische toonfilter maakt, dat de physiologisch gebogen gehoordrempel voor het belangrijkste deel van het audiogram recht getrokken kon worden. Bij een zelfde stand van de sterkteknop worden alle frequenties uit dit gebied aangeboden op een sterkte, die voor elke toon hetzelfde aantal decibels boven de voor die toon geldende normale gehoordrempel ligt. Het audiogram wordt genoteerd op een kaart, die om de frequentieregelknop geschoven wordt en waarop de stand van deze knop bij het vinden van de drempel direct overgenomen wordt op de lijn, die correspondeert met de gebruikte stand van de sterkteregelknop (figuur 15).



De Van Dishoeck-audiometer in eenvoudige uitvoering voor gehooronderzoek in bedrijven en scholen.



FIGUUR 15 - Voorzijde van de audiogramkaart (luchtgeleiding) van de Van Dishoeck-audiometer, fabrikaat Peekel

Ook bij alle andere merken audiometers heeft men getracht het mogelijk te maken, dat het gehoorverlies voor verschillende frequenties direct in decibels is af te lezen. Indien men het apparaat instelt op een willekeurige frequentie en de sterkteregelknop plaatst in de voor deze frequentie geldende stand van „o dB gehoorverlies", dan zal de geluiddruk, die de telefoon veroorzaakt, overeen komen met een algemeen aanvaarde „normale" drempelwaarde voor die toon. Gezien de vele factoren, die de nauwkeurigheid van de drempelbepaling beïnvloeden, verdient het aanbeveling, dat de gebruiker zelf voor zijn audiometer de nulcurve vaststelt uit de drempelaudiogrammen van een aantal gezonde jonge mensen zonder oorafwijkingen, die hij volgens zijn eigen testmethode in zijn eigen onderzoekkamer heeft onderzocht. Men kan zich pas dan rekenschap geven van mogelijke storende omstandigheden.

De factoren, die invloed uitoefenen op de gehoordrempelbepaling zijn de volgende:

1. De nauwkeurigheid van de audiometer.
2. Storende geluiden uit de omgeving.
3. Stand van de hoofdtelefoon of de beentriller.
4. Reactiesnelheid, intelligentie en leeftijd van de onderzochte, benevens of deze al eerder audiometrisch werd onderzocht. Het eerste audiogram kan iets minder gunstig uitvallen dan de volgende.
5. Medewerking en instelling van de onderzochte.
6. Ervaring en inzicht van de onderzoeker.
7. Relatieve vochtigheid, atmosferische druk, enz.
8. De methode van onderzoek. Men gebruike steeds dezelfde, liefst gestandaardiseerde methode.
9. Meetfouten.

Minimum eisen voor de *nauwkeurigheid* van de audiometer zijn o.a. door commissies van de British zowel als van de American Medical Association vastgesteld.

Deze eisen zijn:

a. Een voldoende aantal beschikbare frequenties, terwijl de frequentieschaal binnen 3-5% nauwkeurig moet zijn.

b. Sterkteregeling in stappen van ten hoogste 5 dB, van 10 dB onder de gehoordrempel tot een voldoende sterkte daarboven, namelijk 90-100 dB voor een 1000 Hz-toon, terwijl de 5 dB-stappen elk binnen 1-1½ dB nauwkeurig moeten zijn en tussen twee willekeurige standen der sterkteregelaar nooit meer dan 5 dB afwijking van het aangegeven verschil mag bestaan.

c. Zuiverheid van de toon, dat wil zeggen dat boventonen steeds 25-30 dB zwakker moeten zijn dan de grondtoon. Voor elk ander geluid via de telefoon moet dit verschil minstens 50 dB bedragen.

d. Afwezigheid van door onderdelen van de audiometer veroorzaakte bijgeluiden van hinderlijke sterkte, zoals brommen van het voedingsgedeelte.

e. Stabiele frequentie en intensiteit ondanks variaties in de netspanning.

f. Mogelijkheid om intensiteitveranderingen en onderbrekingen uit te voeren zonder voor de onderzochte merkbare mechanische of electrische klik. Het in- of uitschakelen van de toon moet minstens 0,01 sec en hoogstens 0,5 sec duren.

De audiometer moet hierop worden geijkt hetgeen regelmatig dient te worden herhaald.

Tot de *storende geluiden* uit de omgeving rekene men ook die, welke veroorzaakt worden door de onderzochte, de onderzoeker en onderdelen van de audiometer. De bedrijfsarts, die niet over een ideale geluidvrije kamer beschikt, moet met deze maskering terdege rekening houden. Dit bleek ook nodig voor ons onderzoek in Dordrecht. Het horen van tonen lager dan 1000 Hz zal hierdoor bemoeilijkt worden. Drempelverhogingen van bijvoorbeeld 20 dB kunnen het gevolg zijn. Dit stoorniveau mag, indien men onderzoekt met een goed afsluitende hoofdtelefoon, volgens ervaring uit de praktijk van schrijvers als Kinney en Glorig, 45 à 50 dB bedragen. Zo vonden bijvoorbeeld Cox c.s. dat men bij een onderzoek in de industrie nog wel bruikbare audiogrammen verkreeg, ook al is de onderzoekruimte niet ideaal geweest. Het gestoorde gebied was dat der lage frequenties, vooral onder 250 Hz, dat voor de hoofdfunctie van het oor, het verstaan van spraak, toch niet belangrijk is en waar men geen acustisch trauma vindt.

Een witte ruis met een stoorniveau van minder dan 20 dB heeft geen merkbare maskerende werking, een goed afsluitende telefoon geeft 20 à 30 dB verzwakking van geluiden uit de omgeving; daardoor kan een stoorniveau van 40 à 50 dB getolereerd worden. De normale geluiden, die van buiten de kamer door wanden en zorgvuldig gesloten deuren binnendringen, zijn vooral voor de hoge frequenties sterk verzwakt, waardoor hun maskerende werking is verminderd. Indien men met andere geluiden te maken heeft, is voorzichtigheid geboden.

Van Dishoeck & Spoor hebben nagegaan hoe groot de maskering is bij het opnemen van continue audiogrammen in storend omgevingslawaai en welk stoorniveau nog toelaatbaar is zonder dat fouten optreden. Audiogrammen werden opgenomen in een geluidarme kamer met een stoorniveau van 28-32 dB. De nulcurve van de audiometer was vastgesteld uit een reeks normale audiogrammen, opgenomen in deze ruimte. Bij het onderzoek was de proefpersoon blootgesteld aan stoorgeluiden, namelijk:

1. Zuivere tonen van 500, 1000, 2000 en 4000 Hz bij sterkten van 40, 60 en 80 dB, gemeten bij het oor van de onderzochte. De gebruikte telefoon had een rubber rand, welke gemiddeld 10 dB isolatie gaf. Het stoorniveau van 40 dB gaf geen drempelveranderingen, dat van 60 dB gaf 6-14 dB, dat van 80 dB gaf 18-30 dB drempelverhoging voor stoortonen van 500-4000 Hz.

2. Een witte ruis met de in figuur 48 weergegeven frequentiekarakteristiek.

De gebruikte telefoon had geen rubber rand en gaf tot 1000 Hz geen, daarboven ongeveer 10 dB isolatie. Bij een stoorniveau van 40 dB treedt een drempelverhoging van gemiddeld 10 dB, maximaal 20 dB, op in het gebied tussen 500 en 4000 Hz. Door verhoging van het stoorniveau met 10, 20 en 40 dB tot 50, 60 en 80 dB totaalniveau werd de drempel voor alle frequenties 10, 20, resp. 40 dB verhoogd.

3. Gefilterd en ongefilterd fabriekslawaai met de in de figuren 48 en 49 weergegeven frequentie-karakteristieken.

De maximale maskering lag voor het totale lawaai bij 1000 Hz, voor de 240 Hz-band in het frequentiegebied van deze band, voor de 960 Hz- en de 1920 Hz-band bij 1000 Hz en voor de 3840 Hz-band bij 2000 Hz. Het bleek, dat de 960 Hz-band de sterkste maskerende werking had en wel gemiddeld 24 dB bij 40 dB stoorniveau.

Van Dishoeck & Spoor komen tot de volgende conclusies:

1. Voor zuivere tonen als storingsbron is de signaal-storings-verhouding relatief gunstig. Men mag aannemen dat een storing door zuivere tonen bij gebruik van een hoofdtelefoon zonder rubber rand eerst boven 40 dB merkbaar wordt.

2. Voor een witte ruis van 40 dB is de maskering reeds 10-20 dB, gelocaliseerd bij 500-4000 Hz. De signaal-storings-verhouding is zeer ongunstig, wat dan ook de bedoeling is bij klinische toepassing.

3. Voor fabriekslawaai van 40 dB is de maskering nog sterker en gelocaliseerd bij 1000-2000 Hz. De signaal-storings-verhouding is zo ongunstig dat, bij gebruik van een hoofdtelefoon zonder rubber rand, pas een storingsintensiteit van 20 dB of minder geen maskering meer zal geven.

In het algemeen zal dus steeds een maskering door het omgevingslawaai aanwezig zijn. Deze factor limiteert de nauwkeurigheid van het audiogram. Men bepaalt de gehoorverliezen ten opzichte van de drempel, die bij normalen onder dezelfde omstandigheden is gevonden en die reeds enigszins boven de absolute drempel ligt. Kleine defecten zullen aan de waarneming ontsnappen.

Bij tonen van 6000 Hz en hoger gaat de *stand van de telefoon* op het oor invloed krijgen. De golflengte wordt hier van dezelfde grootte als de afstand van het telefoonmembraan tot het trommelvlies, wat kans op staande golven geeft. Bovendien wordt het geluid steeds sterker gericht in een smalle bundel. Richtingsveranderingen hiervan, anatomische variaties van de gehoorgang en geringe wijzigingen in de afstand van de telefoon tot het trommelvlies gaan steeds meer meetellen. Bij de beentriller kan de plaats van contact met het hoofd, het al of niet sclerotisch zijn van huid en bot en vooral de kracht, waarmee aangedrukt wordt, groot verschil uitmaken. De vibraties mogen niet via een andere weg het oor kunnen bereiken, bijvoorbeeld door de lucht of door contact met de gehoorschelp. Men plaatse de beentriller niet met een beugel over die van de telefoon, indien men deze bij het opnemen van de beengeleidingscurve wil laten ophouden.

Uit het bovenstaande blijkt, dat door allerlei veelal niet te achterhalen oorzaken verschillen kunnen optreden tussen twee audiogrammen van dezelfde persoon, waarbij nog komen de onnauwkeurigheid van de aflezing en andere „*toevallige*" omstandigheden. Op deze variatie in de gehoordrempelbepaling bij één persoon hebben vooral Bunch en Witting & Hughson gewezen. Een verschil van 10-15 dB tussen twee bepalingen kan volgens hen geheel van toeval afhankelijk zijn. In tabel 6 zijn de resultaten van een dergelijk onderzoek met het continue audiogram weergegeven voor meermalen opgenomen drempelaudiogrammen bij zes verschillende personen.

Onderzoek van het gehoor op niveau's hoger dan de gehoordrempel

Naast de drempelbepaling omvat de audiometrie ook het onderzoek naar de hoorfunctie op hogere intensiteitniveau's. Fowler Sr vond dat bij tonen, waarvan de gehoordrempel is verhoogd, vergroting van de prikkelintensiteit boven deze abnormale drempel de subjectieve luidheid doet toenemen in dezelfde verhouding als bij een normaal oor, maar dat bij bepaalde soorten van doofheid de luidheid sneller toeneemt dan normaal. Naarmate de intensiteit groter wordt, vermindert het gehoorverlies. Huizing noemde het verschijnsel dan ook *regressie*. Fowler spreekt

TABEL 6

De standaard-afwijking der waarnemingen bij het meermalen opnemen van het drempelaudiogram (volgens de continue methode)

Aantal personen 6 (A tot en met F), d.w.z. 12 oren (re = rechts, li = links); n = aantal beschikbare audiogrammen per oor

	n	0,125	0,25	0,5	1,0	1,4	2,0	2,8	3,4	4,0	4,8	5,7	6,7	8,0	10,0 kHz
A	re 6	5,0	5,4	4,8	3,5	3,2	2,7	2,8	4,7	6,5	5,9	6,2	7,4	6,9	8,1
	li 6	4,9	4,6	6,1	3,1	2,9	2,7	1,9	4,6	6,0	4,5	4,4	5,6	2,8	6,0
B	re 6	5,1	6,2	3,6	2,6	2,3	2,5	2,5	2,7	3,7	1,9	1,7	2,3	3,2	5,8
	li 6	5,0	3,9	3,1	1,0	0,8	0,8	2,3	2,3	2,4	3,4	4,0	5,4	4,8	3,3
C	re 13	4,3	3,5	2,8	2,4	2,3	2,1	2,0	2,3	2,8	3,3	7,6	5,6	6,5	6,4
	li 13	3,7	3,6	2,3	2,0	1,5	1,8	2,4	2,6	3,3	3,2	4,8	4,8	4,7	7,1
D	re 6	4,3	3,6	2,7	2,1	2,2	2,5	2,4	2,4	2,6	3,7	4,5	8,1	6,3	5,7
	li 6	6,7	6,5	5,0	2,0	2,3	2,5	2,6	2,1	3,2	3,8	4,5	6,7	5,2	5,9
E	re 4	0,0	5,1	8,4	1,7	1,0	1,0	1,0	3,3	4,3	3,9	4,2	7,9	8,4	—
	li 4	5,5	5,3	3,2	1,0	1,7	2,8	4,3	4,8	5,6	7,8	7,4	5,9	8,6	9,8
F	re 4	—	2,7	1,3	2,4	2,5	3,0	2,2	1,0	3,2	4,6	3,5	5,2	4,9	3,9
	li 4	—	4,1	1,7	1,0	2,1	3,3	2,5	1,3	1,4	2,4	2,2	4,4	1,7	8,5
Gemidd.		4,6	4,5	3,9	2,9	2,2	2,3	2,4	3,0	3,5	3,6	5,3	5,8	5,8	6,6 dB

van recruitment. Luidheidonderzoek is alleen goed mogelijk bij eenzijdig gehoorverlies. Maar bij de lawaaidove is de aandoening vrijwel steeds dubbelzijdig. Er zijn vele methodes aangegeven om toch dit onderzoek mogelijk te maken. Geen enkele is echter geheel bevredigend, daar men bij de meeste niet weet of men wel eigenschappen onderzoekt, die van de luidheid direct afhankelijk zijn.

Een eenvoudige methode, waardoor men regressie op het spoor kan komen, is de dynamiekbepaling volgens Mol. Voor 500, 1000 en 2000 Hz wordt, behalve de drempel, ook bepaald de sterkte, waarop de toon zonder inspanning of hinder gehoord wordt en tevens de intensiteit, waarop de toon onzuiver, scherp en onaangenaam gaat worden. Voor normalen ligt het punt „prettig" 40-70 dB, het punt „scherp" 55-95 dB boven de drempel van de gebruikte toon. Bij regressie is het verschil kleiner, men spreekt dan van een steile dynamiek. Hierbij moet men echter in het oog houden dat door Van Dishoeck & Rol werd gevonden, dat „scherp" en „luid" twee in wezen verschillende kwaliteiten zijn.

De gehoordrempelbepaling met zuivere tonen geeft ons slechts een beperkt inzicht in het vermogen van het gehoor om zijn belangrijkste sociale functie, namelijk het verstaan van *spraak*, uit te oefenen. Vroeger stuitte het gebruik van spraak als prikkelmateriaal bij het gehooronderzoek op verschillende bezwaren. Eén daarvan was, dat men nooit zeker was van de intensiteit, waarmee men de prikkels aanbood, terwijl deze bovendien niet voldoende en niet nauwkeurig genoeg kon worden gevarieerd. Met de moderne versterkertechniek is het eenvoudiger geworden om de geluiddruk van het gesproken woord naar believen te verzwakken of te versterken.

De spraak, die men laat horen, is tegenwoordig vrijwel steeds opgenomen op grammofoonplaten of magnetische band. Ze kan bestaan uit:
zinnen (verbonden tekst of losse zinnen);
woorden, bijvoorbeeld spondaeën of phonetisch gebalanceerde lijsten, dat wil zeggen lijsten, waarin alle spraakklanken van de omgangstaal in de gebruikelijke verhoudingen vertegenwoordigd zijn;
getallen;
lettergrepen (nonsenswoorden).

Biedt men met toenemende intensiteit spraak aan, dan gaat de onderzochte eerst aangeven, dat hij iets hoort. Of het spraak is weet hij niet (gehoordrempel). Daarna wordt het aangebodene als spraak herkend (onderscheidingsdrempel) en dan wordt het eerste (gemakkelijkste) woord verstaan (spraakgehoordrempel). Laat men nu op een hoger niveau een bepaalde hoeveelheid van het gesprokene horen dan kan men vaststellen, welk percentage daarvan correct is verstaan (articulatiepercentage). Dit wordt voor elk aangeboden versterkingsniveau aangetekend. Het intensiteitniveau, waarop vijftig procent van het aangeboden materiaal goed wordt verstaan, heet de spraakverstaanbaarheidsdrempel. Dit punt karakteriseert het gehoorverlies in het spraakaudiogram namelijk beter dan de voet of de top van de curve. Wordt ondanks steeds meer opvoeren van de intensiteit geen honderd procent verstaanbaarheid bereikt, dan is er discriminatieverlies. Dit is het percentage woorden, dat niet wordt verstaan op het niveau, waar het articulatiepercentage het grootst is (de optimum intensiteit). In figuur 16 is een spraakaudiogram weergegeven.

Bij overigens gelijke geluiddruk is het articulatiepercentage voor zinnen veel hoger dan voor losse woorden. Voor lettergrepen ligt het nog lager. Uit tabel 7 blijkt, dat bij Amerikaanse onderzoekingen het percentage zinnenarticulatie reeds bijna maximaal was bij 40 à 50% lettergreeparticulatie. Dit bewijst dat men door combinatievermogen een zin toch kan begrijpen, ook al was deze slechts gedeeltelijk te verstaan.

Hoewel de spraakaudiometrie nog verder aangepast moet worden aan de wijze, waarop men spraak in het dagelijks leven hoort, is dit onderzoek van groot practisch belang bij het bepalen van de mate van invaliditeit en bij het aanpassen van een hoorprothese. Alleen de spraakaudiometrie heeft ons een inzicht gegeven in het discriminatieverlies.

Beschrijving der gebruikte audiometrische apparatuur en methodiek bij het onderzoek in Dordrecht

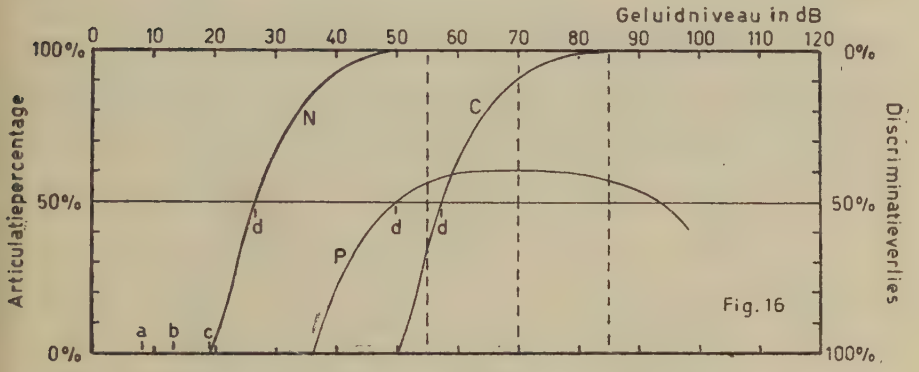
Voor het hier beschreven onderzoek van de in lawaai werkende personen was beschikbaar een Peters audiometer, type SD 2. Opgemerkt dient te worden, dat dit type nog niet voorzien was van de drempelcorrectie, die als kenmerk voor het type S.P.D. 2 werd besproken.

TABEL 7

Het verschil in articulatiepercentage voor losse lettergrepen, losse eenlettergrepige woorden en verbonden tekst bij dezelfde geluiddruk

(Naar een figuur van French en Steinberg)

Lettergrepen	Woorden	Zinnen
90%	97%	99%
80%	95%	98%
70%	92%	98%
60%	88%	97%
50%	82%	96%
40%	76%	94%
30%	68%	90%
20%	60%	82%



FIGUUR 16 - Het spraakaudiogram naar Silverman & Davis, een grafiek die het verband aangeeft tussen het percentage correct verstane woorden, lettergrepen of zinnen uit een aangeboden serie [articulatiepercentage] en het geluidsterkteniveau, waarmee die serie ten gehore werd gebracht.

N: normaal spraakaudiogram [normale articulatiecurve].

C: voorbeeld van een geleidingsdoofheid.

P: voorbeeld van een hoorstoornis, waarbij slechts 62% spraakverstaanbaarheid bereikt wordt, ook al voert men de geluidsterkte van de aangeboden spraak nog verder op. Er blijft dus een discriminatieverlies van 38%.

a: normale gehoordrempel [threshold of audibility].

b: normale onderscheidingsdrempel [threshold of detectability].

c: normale spraakgehoordrempel [threshold of sensitivity].

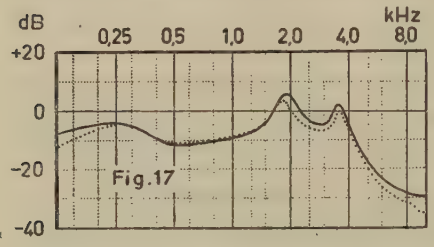
d: spraakverstaanbaarheidsdrempel [threshold of speech-intelligibility].

De apparatuur werd geijkt in December 1951 te Delft door de Afdeling Gezondheidstechniek T.N.O. en in April 1953 te Leiden in de Universiteitskliniek voor Keel-, Neus- en Oorheelkunde. Beide keren bleek het toestel goed te voldoen aan de Engelse en Amerikaanse eisen.

Figuur 17 vertoont de frequentiekarakteristiek van de gebruikte telefoon. Hierin kan men voor alle frequenties aflezen het verschil tussen de werkelijke geluiddruk en het niveau, dat op het toestel is aangegeven. Staat bijvoorbeeld de verzwakkerknop op 90 dB dan is de geluidintensiteit voor 750 Hz werkelijk slechts 80 dB, voor 3000 Hz werkelijk

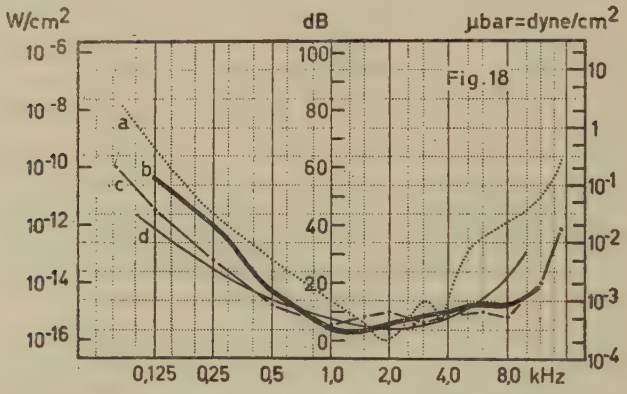
slechts 85 dB. Het meest opvallend zijn hierbij de twee pieken bij ongeveer 1800 respectievelijk 3600 Hz.

Het spreekt vanzelf, dat deze curve terug te vinden is in de met dit apparaat gemeten normale gehoordrempelcurve. Deze werd verkregen als gemiddelde van de drempelcurves van twintig personen van 15-25 jaar oud, die nog nooit eerder audiometrisch waren onderzocht.



FIGUUR 17 - Frequentiekarakteristiek van de bij het onderzoek te Dordrecht gebruikte telefoons (links en rechts).

Figuur 18 laat zien, hoe na de correctie de als nullijn aangenomen drempelcurve voor tonen boven 700 Hz zeer goed overeenkomt met de gegevens van Sivian & White, Dadson & King en Wheeler & Dickson.



FIGUUR 18 - De gebruikte nulcurve voor het onderzoek van elk oor afzonderlijk met een telefoon.

a. De bij twintig 15-25 jaar oude, gezonde mensen vastgestelde gemiddelde gehoordrempel, genoteerd volgens de op de audiometer aanwezige intensiteitschaal.

b. Dezelfde curve herleid tot de met een Bruehl & Kjaer kunstoor gemeten werkelijke geluiddruk.

c. Normale gehoordrempelcurve volgens Dadson & King en Wheeler & Dickson.

d. Normale gehoordrempelcurve volgens Sivian & White.

Voor de lage tonen is deze overeenstemming echter iets minder goed. Hiervoor zijn vier verklaringen mogelijk:

1. Onjuiste meting van de telefoon-karakteristiek.
2. Verschil in meetmethodiek (octaaf- en continue audiometrie).
3. Ongeoefendheid van de proefpersonen.
4. Maskerend stoorlawaai in de onderzoekkamer.

Bij het acoustisch onderzoek van de telefoons vertoonden de meetcurven van vier verschillende metingen de grootste onderlinge verschillen in het gebied der lage frequenties (geluidlek langs het kunstoor?). De curve, die het minst van een vlakke karakteristiek afweek, werd als de meest juiste aangenomen.

Uit onderzoek van Van Dishoeck & Van Gool is gebleken, dat men met de continue audiometrie gemiddeld 2,5 dB lagere drempelwaarden vindt dan met de octaafaudiometrie. Dit is begrijpelijk, daar de gebruikelijke intensiteitstappen der octaafmethode 5 dB groot zijn en het gemiddelde der in deze marge vallende waarnemingen 2,5 dB onder de hoogste intensiteitwaarde ligt.

TABEL 8

De standaard-afwijking van herhaalde gehoordrempelbepalingen bij dezelfde persoon

Uit het continue toondrempelaudiogram werd bij 14 frequenties de waarde afgelezen in dB t.o.v. de nulcurve van de betrokken audiometer. Alleen de waarnemingen voor het rechteroor zijn hier weergegeven.

Dordrecht: Peters SD 2 audiometer. Onderzoekkamer: Bedrijfsgeneeskundige Dienst (12 audiogrammen)

Leiden: Western Electric audiometer. Onderzoekkamer: Universiteitskliniek (13 audiogrammen)

	Dordrecht		Leiden		Dordrecht en Leiden St. dev.
frequentie in kHz	gemiddelde	standaard deviatie	gemiddelde	standaard deviatie	
0,125	−14,2	2,4	−4,4	4,3	3,5
0,25	−14,0	2,8	−5,7	3,5	3,2
0,5	− 9,4	3,0	−5,8	2,8	2,9
1,0	− 3,8	2,0	−3,0	2,4	2,3
1,4	− 1,6	2,6	−2,9	2,3	2,5
2,0	− 0,8	2,4	−2,8	2,1	2,3
2,8	0,3	2,7	−2,1	2,0	2,4
3,4	− 0,3	1,8	−2,8	2,3	2,0
4,0	0,1	3,4	−2,1	2,8	3,1
4,8	3,1	4,2	1,2	3,3	3,7
5,7	9,8	6,7	7,6	7,6	7,2
6,7	14,8	6,6	9,8	5,6	6,1
8,0	10,9	9,1	−6,8	6,5	7,8
10,0	− 3,0	5,8	−6,7	6,4	6,1

Ten einde zeker te zijn, dat de audiometer goed functionneert, moet men hem op gezette tijden acoustisch controleren, bijvoorbeeld door het opnieuw audiometreren van een groep jonge mensen of doordat de onderzoeker zijn eigen gehoordrempel telkens weer bepaalt. Men is dan tevens georiënteerd over andere storingen, zoals brom, ruis, klikken, onzuiverheden van toon, slecht functionnerende schakelaars, enz. Daar wij de laatste methode toepasten, kon worden beschikt over een serie

eigen audiogrammen, opgenomen te Dordrecht met de Peters-audiometer en te Leiden met een Western-Electric-audiometer, waarvan de nulcurve beter aan de gehoordrempel is aangepast. Uit tabel 8 blijkt, dat desondanks de standaard-deviaties van beide series met elkander overeenkomen.

In de speciale onderzoekruimte te Leiden is invloed van maskering verwaarloosbaar klein te achten en daar wijkt het gemiddelde audiogram van de onderzoeker weinig van de nullijn af. In Dordrecht is dit verschil aan de baszijde 10 dB. De onderzoeker werd hier minder gestoord door achtergrondlawaai dan de proefgroep, wier gemiddelde gehoordrempel als nullijn werd aangenomen. Daar de gemiddelde verschillen tussen de beide series audiogrammen zeer goede overeenkomst vertonen met de in figuur 18 gedemonstreerde afwijking tussen de gecorrigeerde nullijn te Dordrecht en de normale gehoordrempel volgens Dadson e.a., mag men aannemen dat de onderzoeker te Dordrecht even weinig maskering ondervond als te Leiden, maar dat bij de bepaling van de Dordtse nullijn de proefpersonen wel werden beïnvloed. Dit komt waarschijnlijk doordat ze niet gewend zijn om lage onderzoektonen te onderscheiden van storende bijgeluiden. Men moet dit zien als een onvolkomenheid van het audiometrisch onderzoek onder de in de industrie bestaande omstandigheden.

Ondanks dat wij de gehoorbepalingen deden in vier ruimten met verschillend stoorlawaai, vertonen de audiogrammen in het basgebied steeds een verloop, dat met de Dordtse nullijn in overeenstemming is. Evenals Krejci & Bornschein, Cox e.a. vinden we dus basverliezen, maar deze mogen niet zonder meer als werkelijke gehoorafwijkingen beschouwd worden. Wel is het duidelijk, dat bij groot lawaaitrauma het basgebied mede aangedaan kan zijn.

Daar wij niet over een audiometer met gecompenseerde nullijn beschikten, werd met behulp van een lijnenschablone, die onder het doorschijnende audiogramformulier werd gelegd, de gehoordrempelcurve direct als verliesaudiogram ten opzichte van een rechte nullijn genoteerd. Ook Veckmans heeft inmiddels op deze mogelijkheid gewezen.

De onderzoekruimte

Juist in die bedrijven, waar men gehoorschade verwacht en waar hoge lawaainiveau's voorkomen is het zeer moeilijk een vertrek te vinden, dat geschikt is om er audiometrisch onderzoek te verrichten. Het stoorniveau in de onderzoekruimte moet immers zo laag mogelijk zijn.

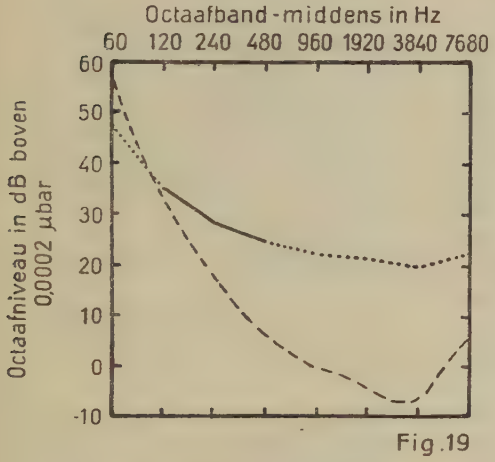
De keuze van het stille vertrek wordt bepaald door de volgende wensen:

a. zo ver mogelijk van de lawaaibron;
b. in een ander gebouw;
c. niet aan een buitenmuur en is dit wel het geval dan zonder vensters;
d. liefst dikke muren en in ieder geval een goed sluitende deur;
e. geen communicatie met buiten door luchtkanalen;

f. geen voortgeleide trillingen van in het gebouw opgestelde machines, van luchtinblaas of centrale verwarmingsinstallaties;

g. liever af en toe een kortdurende storing, gedurende welke tijd men het onderzoek even stopt, dan een steeds wisselend stoorniveau van telkens weer andere geluiden. Met een continu geruis van gelijkblijvend karakter kan desnoods rekening gehouden worden bij de beoordeling van de audiogrammen.

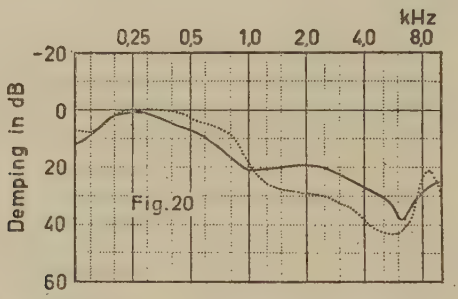
Daar men practisch nooit zeker is van de maskerende invloed van het stoorgeluid is het aan te bevelen in het betreffende vertrek onder de omstandigheden, zoals die zich bij het werkelijke onderzoek voordoen, van enkele goed horende personen een audiogram op te nemen van wie men ook in stilte de gehoordrempel heeft bepaald, bijvoorbeeld 's avonds na werktijd. Kan men geen ruimte vinden die aan de eisen voldoet, dan zal men constructie of aanschaffing van een „sound proof booth" moeten overwegen.



FIGUUR 19 - Stoorniveau in de onderzoekkamer van de Bedrijfsgeneeskundige Dienst te Dordrecht.
De waarneming in het laagste octaaf werd beïnvloed door netspannings-of versterkerbrom. De meetapparatuur was niet geschikt voor metingen lager dan 20 dB, zodat de uitkomsten voor de hoogste vier octaven moeten worden geïnterpreteerd als „ongeveer 20 dB of minder". Tevens is aangegeven de gehoordrempel voor binauraal luisteren in het zgn. „vrije veld" volgens Fletcher & Munson.

Bij het onderzoek in Dordrecht werd in twee bedrijven gebruik gemaakt van een betonnen schuilkelder, waarvan de ontluchtingskokers zoveel mogelijk geluiddicht werden gemaakt. Ook een keldervertrek en vooral een kluis voldeden aan de eis. In een ander geval werd het onderzoek verricht in een kamer van een bij het bedrijf behorend woonhuis, waarbij het straatvenster met board werd afgesloten. De permanente onderzoekruimte van de Bedrijfsgeneeskundige Dienst bevindt zich in het souterrain van een op betonnen fundering rustend gebouw. Hier werd het stoorniveau gemeten door de Afdeling Gezondheidstechniek T.N.O. Uit figuur 19 blijkt dat dit vertrek ruimschoots voldoet aan de eisen, die hierboven reeds zijn beschreven.

De geluidisolatie door de hoofdtelefoon werd bepaald door in het vrije veld een drempelaudiogram op te nemen. Hierbij werden dus de onderzoektonen niet aangeboden via een telefoon, maar via een luidspreker. Heeft men aldus de gehoordrempel bepaald, dan kan men daarna nagaan in hoeverre er veranderingen optreden door over het onderzochte oor als bedekking de hoofdtelefoon te plaatsen zonder dat deze ingeschakeld is. Uit het verschil tussen de twee drempelcurves kan men de isolerende werking van de telefoon ten opzichte van geluiden uit de omgeving opmaken (zie figuur 20). Wil men de afsluiting van de telefoon door een rubber rand verbeteren, dan moet men daarna opnieuw de nullijn vaststellen. Deze kan zijn verbeterd door vermindering van de maskering van het omgevingslawaai. Zij kan echter ook slechter geworden zijn door verandering van de acoustische aanpassing van de telefoon aan het oor.



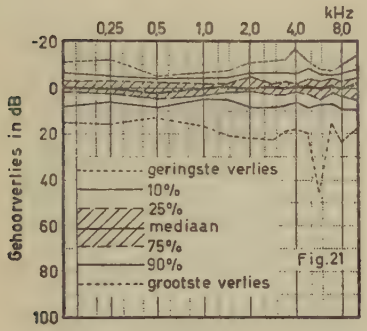
FIGUUR 20 - Twee dempingscurves van de te Dordrecht gebruikte telefoons met harde rubberkap.

De afdelingsaudiogrammen

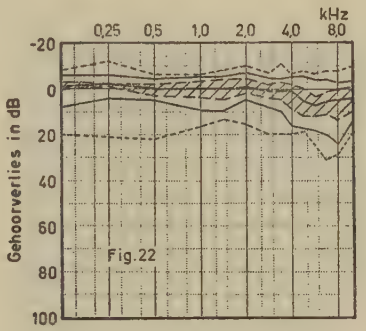
Het zou te ver voeren en niet overzichtelijk zijn, wanneer alle opgenomen audiogrammen werden weergegeven. Van de personen, die werken in de afdelingen, waar het lawaai is gemeten en die in de anamnese of bij onderzoek geen aanknopingspunten voor gehoorafwijkingen van andere oorsprong hadden, zijn de gehoordrempelcurves per afdeling tot een grafische voorstelling verwerkt, waarin het gemiddelde verloop en de afwijkingen daarvan tot uiting komen. Voor elk audiogram werd bij 0,125; 0,25; 0,5; 1,0; 1,4; 2,0; 2,8; 3,4; 4,0; 4,8; 5,7; 6,7; 8,0 en 10,0 kHz het gehoorverlies in decibels afgelezen. Deze waarnemingen werden voor elk van de genoemde frequenties afzonderlijk bewerkt. In verband met de grote kans op scheve verdelingen, want naar de „goede" kant kan de gehoordrempel nooit veel beter worden dan normaal, naar de „slechte" kant tot volledige doofheid toe variëren, werd besloten om niet het gemiddelde, maar liever de mediaan als richtlijn te nemen. Immers het rekenkundig gemiddelde wordt sterk beïnvloed door enkele

extreem grote waarden; de mediaan, de waarde van de middelste waarneming, als men alle waarnemingen rangschikt naar hun grootte, verandert hier nauwelijks door. Om een indruk te geven van de spreiding werden het tweede en derde kwartiel, tezamen bevattende 50% der waarnemingen rond de mediaan, gearceerd.

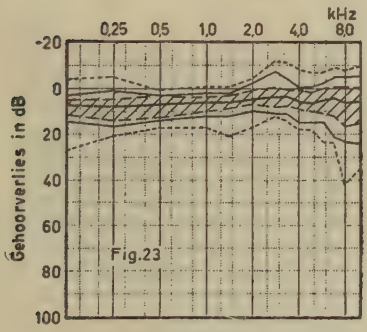
Ter verdere oriëntatie werden nog aangegeven het eerste en laatste deciel en tevens de hoogste en de laagste waarden om de gehele spreiding weer te geven. De overeenkomende punten voor de veertien verschillende afleesfrequenties werden terwille van de overzichtelijkheid met lijnen verbonden. Men houde in het oog, dat uit de vorm van deze lijnen geen conclusies getrokken kunnen worden over de vorm van de afzonderlijke audiogrammen. Kortheidshalve echter zullen we deze figuren aanduiden als „afdelingsaudiogrammen".



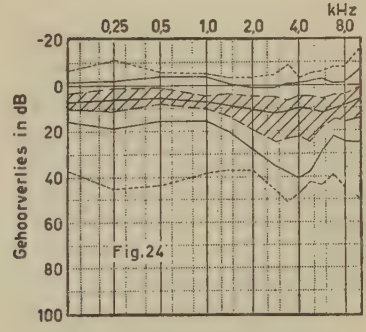
FIGUUR 21 - Proefgroep 20 normaal horende jonge mensen van 15-25 jaar.



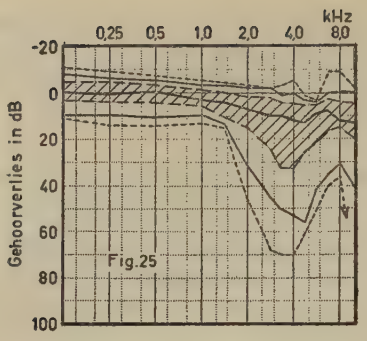
FIGUUR 22 - Sigarettenmachine-afdeling (vóór het werk; 30 oren).



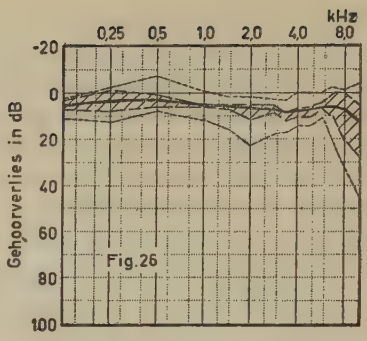
FIGUUR 23 - Chocoladefabriek, enrobeuse-afdeling (tijdens het werk; 42 oren).



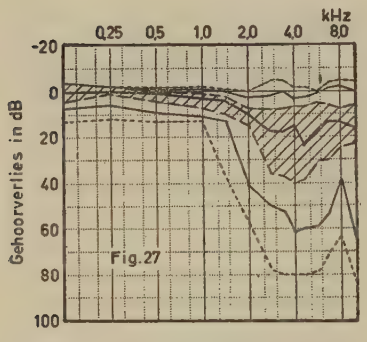
FIGUUR 24 - Chocoladefabriek, Praletta-afdeling (vóór het werk; 40 oren).



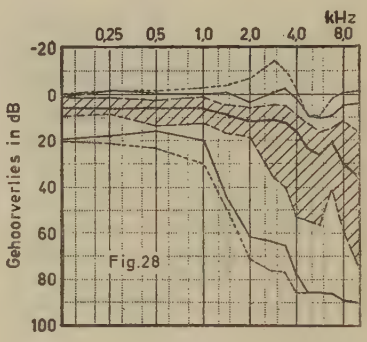
FIGUUR 25 - Chocoladefabriek, Lehmann-Savy-afdeling (vóór het werk; 24 oren).



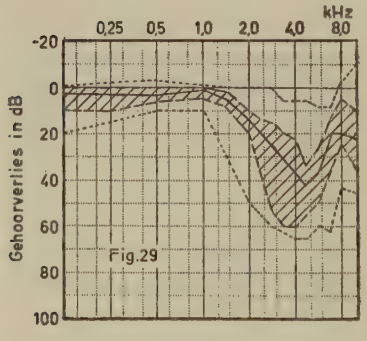
FIGUUR 26 - Biscuitbakkerij (tijdens het werk; 10 oren).



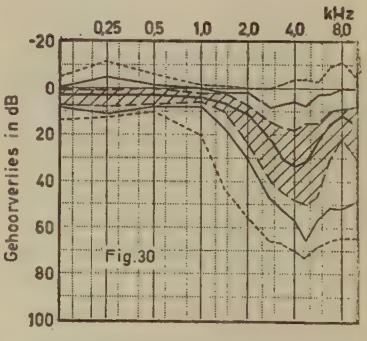
FIGUUR 27 - Dynamoblikponserij (vóór het werk; 32 oren).



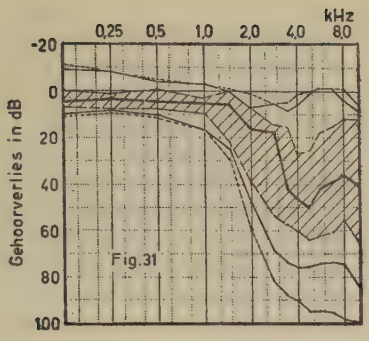
FIGUUR 28 - Automaten-afdeling (vóór het werk; 16 oren).



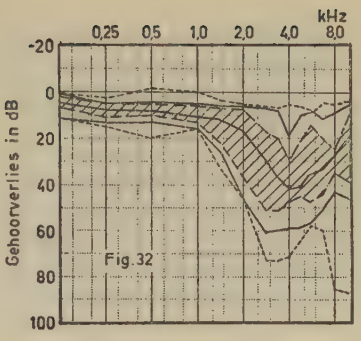
FIGUUR 29 - Aluminium-spuitgietafdeling (vóór het werk; 12 oren).



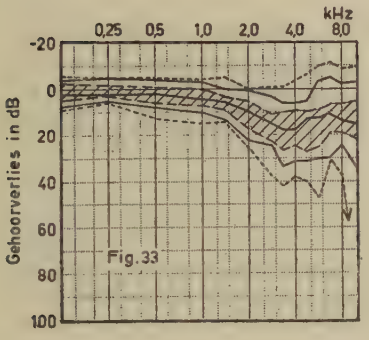
FIGUUR 30 - Constructiefabriek, ketelmakers (tijdens het werk; 38 oren).



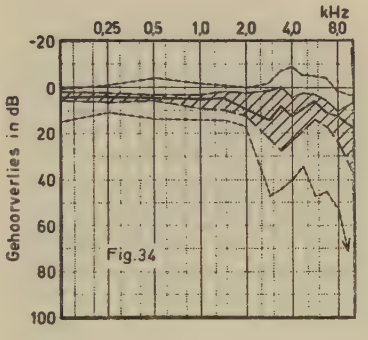
FIGUUR 31 - Constructiefabriek, zware plaatwerkerij (tijdens het werk; 16 oren).



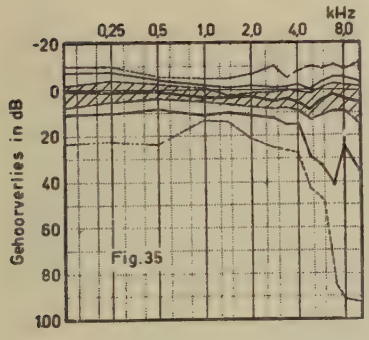
FIGUUR 32 - Constructiefabriek, draaierij (tijdens het werk; 14 oren).



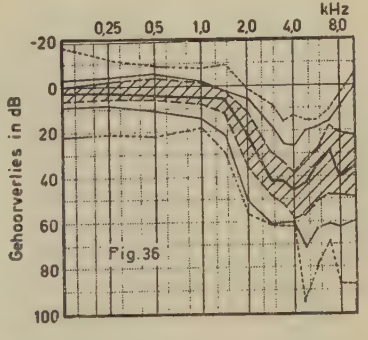
FIGUUR 33 - Constructiefabriek, lichtmetaal-afdeling (tijdens het werk; 22 oren).



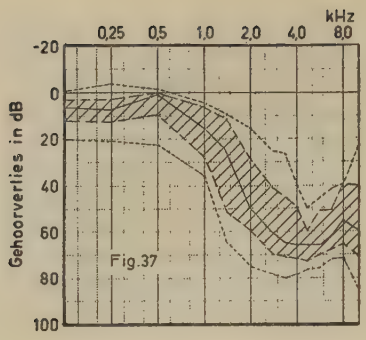
FIGUUR 34 - Constructiefabriek, gereedschapmakerij (tijdens het werk; 14 oren).



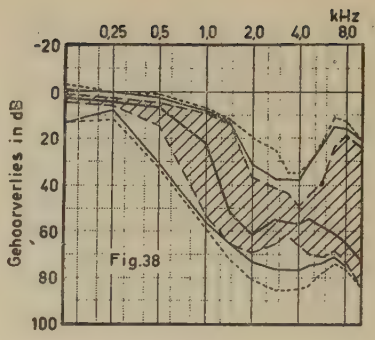
FIGUUR 35 - Constructiefabriek, leerschool (tijdens het werk; 36 oren).



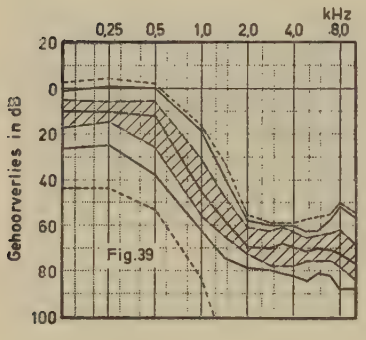
FIGUUR 36 - Constructiefabriek, plaatdrijvers (tijdens het werk; 20 oren).



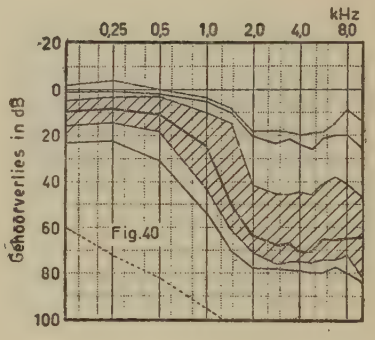
FIGUUR 37 - Constructiefabriek, klinkers (tijdens het werk; 8 oren).



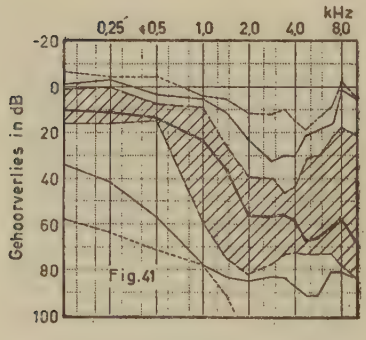
FIGUUR 38 - Scheepswerf, ketelmakers (tijdens het werk; 14 oren).



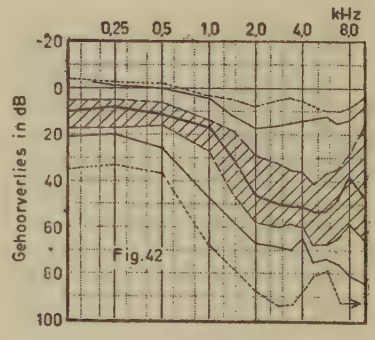
FIGUUR 39 - Scheepswerf, kokers (tijdens het werk; 20 oren).



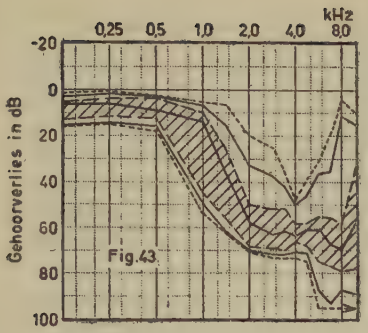
FIGUUR 40 - Scheepswerf, klinkers (tijdens het werk; 24 oren).



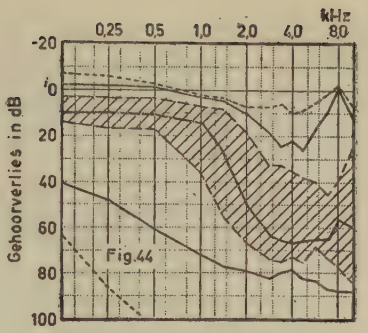
FIGUUR 41 - Scheepswerf, aanhouders (tijdens het werk; 18 oren).



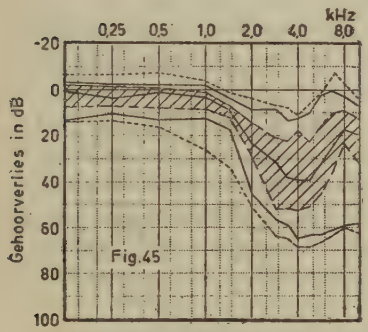
FIGUUR 42 - Scheepswerf, klinkerhulpen (tijdens het werk; 26 oren).



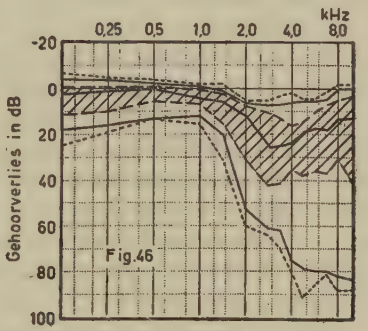
FIGUUR 43 - Scheepswerf, boorders (tijdens het werk; 10 oren).



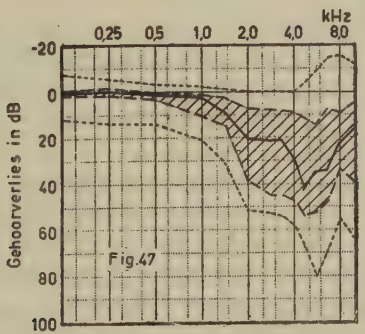
FIGUUR 44 - Scheepswerf, ijzerwerkers (tijdens het werk; 24 oren).



FIGUUR 45 - Scheepswerf, plaatwerkers (tijdens het werk; 20 oren).



FIGUUR 46 - Scheepswerf, lassers (tijdens het werk; 16 oren).



FIGUUR 47 - Scheepswerf, timmerlieden (tijdens het werk; 12 oren).

Hoofdstuk V

INVLOEDEN VAN LAWAAI VAN TIJDELIJKE AARD

Het lawaai in de industrie heeft verscheidene bedrijfsgeneeskundige facetten. Het kan de hoorfunctie beschadigen, hetgeen uit medisch oogpunt het ernstigste gevolg is, daar het blijft bestaan ook wanneer de lawaai-expositie beëindigd wordt. Men kent er echter ook invloed aan toe op de productiviteit, op de netheid, op de werklust en op het algemeen welbevinden. Verder wordt het onderling verstaan belemmerd.

Over de storende invloed op arbeidslust, concentratievermogen, productiviteit en dergelijke, het psychologische effect van lawaai dus, is wel veel geschreven, maar de conclusies kunnen volgens Kryter de toets der critiek niet doorstaan. In plaats van storend kan een continu lawaai soms eerder isolerend werken, zodat men zich beter kan concentreren. Toch kunnen vooral onverwachte of dissonante, hoge geluiden vaak zeer onaangenaam en hinderlijk zijn, waardoor het onprettig is daarbij te moeten werken. Op denkarbeid zal men de grootste invloed kunnen verwachten.

Ook aan de storende invloed van lawaai op de onderlinge communicatie door middel van spraak heeft Kryter een deel van zijn overzicht gewijd. In tabel 3 werd reeds aangegeven bij welk lawaainiveau nog spraakverstaan mogelijk is. De in deze tabel weergegeven getallen komen beter met onze ervaringen overeen dan de door Beranek aangegeven „speech interference levels".

Van Dishoeck & Van Gool hebben uiteengezet, dat men behalve de maskering nog vier andere vormen van gehoordrempelverhoging moet onderscheiden, namelijk ogenblikkelijke en geleidelijke adaptatie, vermoeidheid en blijvende schade (trauma).

Door Gardner, De Maré, Lüscher & Zwislocki en anderen wordt beschreven, dat bij inwerking van een toon de gehoordrempel voor die toon reeds na enkele milliseconden gestegen is. De drempelverhoging is groter naarmate de stimulerende toon sterker is, maar is, mits de prikkelintensiteit een bepaalde maat niet overschrijdt, enkele tienden van een seconde na stil worden van die toon weer verdwenen. De drempelstijging is symmetrisch gelocaliseerd rond de frequentie van de prikkeltoon en maximaal voor deze frequentie. Er is geen regressie.

Hiernaast neemt tijdens de inwerking van een toon gedurende de eerste drie minuten de luidheid van die toon geleidelijk af. Het herstel van de luidheidfunctie na afbreken van de toon neemt één à twee minuten in beslag. Deze luidheidafname is niet afhankelijk van de drempelverhoging, die in de vorige alinea werd beschreven. Beide komen ook voor bij personen, die een radicaal-operatie hebben ondergaan, zodat de invloed van oorspieren is uitgesloten. Fabriekslawaai zal dus in de eerste drie minuten luider waargenomen worden dan daarna.

Een derde verschijnsel is de schadelijke werking van geluid op het gehoor. Men vindt na geluidprikkels van 80 dB en meer een langduriger drempelverandering, die in talrijke publicaties, o.a. van Rawdon Smith, Ewing & Littler, Perlman, Davis, Ruedi & Furrer, Van Dishoeck & Van Gool en Hood, is beschreven.

Meestal gebruikte men zuivere tonen, soms lawaai van zeer breed spectrum. Het tengevolge hiervan optredende gehoorverlies duidt men aan met de naam „stimulation deafness", overprikkelings-doofheid of „fatigue", vermoeidheid.

De grootte van deze gehoordrempelverhoging is onder andere afhankelijk van de sterkte, de inwerkingsduur en de frequentie van de geluidprikkel. Het effect treedt eerder en sterker op bij hogere dan bij lagere prikkeltonen.

De drempelverandering is, behalve voor langdurige exposities aan grote geluidintensiteiten, beperkt tot een betrekkelijk klein frequentiegebied, dat hoger ligt dan de stimulerende frequentie. Het audiogram vertoont een min of meer v-vormige knik, dus een „dip". Het maximum is smal en ligt ongeveer een half octaaf hoger dan de prikkeltoon. Hierbij zijn echter grote variaties mogelijk. De dip is asymmetrisch ten opzichte van het maximum en heeft naar de hogere frequenties een grotere uitbreiding dan naar de lagere.

Voor frequenties lager dan de prikkeltoon zijn de drempelveranderingen minimaal, terwijl ze voor de frequentie van de prikkeltoon zelf maar zeer gering zijn vergeleken met het maximum van de dip.

Indien reeds een gelocaliseerd gehoorverlies aanwezig is, dan is de vorm van de overprikkelingsdip dezelfde alsof het oorspronkelijke verlies er niet was. Daar, waar beide elkaar overlappen, treedt geen extra drempelverhoging op (Van Gool). Dit geldt ook voor die gevallen, waar het eerste gehoorverlies eveneens een experimentele dip was.

Het gehoorverlies door fatigue ontwikkelt zich gedurende de eerste minuten van de belasting het snelst, daarna steeds langzamer. De individuele gevoeligheid kan sterk wisselen.

De opgetreden doofheid vertoont regressie.

Het herstel van het gehoor na afloop van de expositie begint snel, maar vordert daarna steeds minder vlug. De progressie van het herstel is soms zeer onregelmatig, waar onder anderen Davis, Van Dishoeck & Van Gool en Hirsh & Ward op gewezen hebben. Ook zijn er grote individuele

afwijkingen in de wijze van herstel. Zelfs is er soms verschil tussen het linker- en rechteroor bij één persoon (Wheeler). Beschouwt men het gehele audiogram, dan vinden Davis en zijn medewerkers, dat het herstel de neiging heeft om het traagst te zijn voor frequenties van ongeveer 4000 Hz, ongeacht de frequentie van de prikkeltoon. Van Gool echter, die een onderzoek deed naar de herstelsnelheid van dip-maxima gelocaliseerd op verschillende frequenties, vond hiervoor geen onderlinge verschillen.

Experimenten

Daar de beschreven proeven over gehoorvermoeidheid gedaan zijn met zuivere tonen of een ruis met zeer breed spectrum, werd door ons nagegaan hoe afzonderlijke componenten van een fabriekslawaai de gehoordrempel tijdelijk konden beïnvloeden. Het hiervoor gebruikte lawaai was op de magnetische band opgenomen via octaaffilters, zoals deze gebruikt worden voor de analyse van het lawaaispectrum.

Van elke proefpersoon werd telkens voor de blootstelling aan lawaai het drempelaudiogram opgenomen, waarna steeds alleen het rechteroor werd belast, terwijl het linker werd afgesloten met een gehoorbeschermer. Het lawaai werd gereproduceerd via een luidspreker. Tijdens de lawaaiinwerking werd het rechteroor gericht naar de luidspreker, waarbij het zich bevond op een afstand van een meter van de conus, in de as van het luidsprekersysteem.

Het totale sterkteniveau van het gereproduceerde lawaai werd gemeten door het opstellen van de geluidniveaumeter in plaats van de proefpersoon, zodanig dat de microfoon, op de meter bevestigd, zich op de plaats van het te belasten oor bevond.

Deze wijze van meten heeft het bezwaar, dat men niet de werkelijk bij het oor van de proefpersoon bestaande geluiddruk meet. Deze kan soms, o.a. door reflectie, hogere waarden bereiken dan in het vrije veld. Daar staat echter tegenover, dat men bij metingen in de industrie gewend is „vrije veld-metingen" te doen en het is er uiteindelijk om begonnen van deze niveau's de schadelijkheid te bepalen. Overigens werden tijdens de belasting de niveau's bij het oor af en toe nagegaan, waarbij nooit opvallende stijgingen werden geconstateerd.

Om te controleren of de sterkte van de prikkel gedurende de expositie gelijk bleef werd bij wijze van steekproef in ongeveer een kwart van de gevallen na de belasting opnieuw het niveau gemeten. Er waren echter nimmer verschillen. De gehoordrempelbepaling werd een halve minuut na het eind van de expositie aangevangen en wel voor het rechteroor het eerst.

De lawaaispectra van de geluidprikkels zijn weergegeven in de figuren 48 en 49 en tabel 9. De gehoordrempelverhoging door deze stimuli is verwerkt in tabel 10 en figuur 50 als gemiddelde van telkens vier oren bij een exposietietijd van vijf minuten en verschillende sterkteniveau's.

TABEL 9 – *Octaafzeef-analyses van de fabriekslawaai-bandjes uitgedrukt als intensiteitverschillen in dB t.o.v. het totale niveau van het bandje*

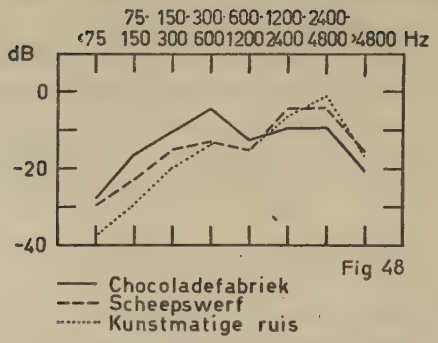
Middens van de T.N.O.-octaafband-filters, via welke het lawaai werd opgenomen.	Analyse-banden van de gebruikte G-R octaafzeef in Hz							
	0–75	75–150	150–300	300–600	600–1200	1200–2400	2400–4800	4800–inf.
60 Hz	6	1–7	6	13	28	26	24	35
120 Hz	18½	0–2½	4½–7½	23	38	38½	38½	47½
240 Hz	32–33	14–16	1–2	5	34	39	40	43
480 Hz	42	34	17	0	16	37	39	45
960 Hz	36	26–28	24	4–6	2½	13–14	43	47
1920 Hz	38	30	28	26	11–12	1	9	36
3840 Hz	39	31	29	28	35	9	0	15
7680 Hz	31	22	19	19	27	22	4	2
Totaal lawaai choc.fabriek	27	12–16	9	4	12	8	8	19
klinken	29	22	14	12	14	3	3	14
witte ruis	38	30	20	13	16	6	1	17

TABEL 10 – *De gehoordrempelverhoging (uitgedrukt in decibels) door blootstelling gedurende vijf minuten aan verschillende sterkten (met Sound Level Meter gemeten totaalniveau uitgedrukt in decibels boven 0,0002 μbar) van via octaafbandfilters opgenomen en door een luidsprekersysteem gereproduceerd fabriekslawaai (triltafels in een chocoladefabriek)*

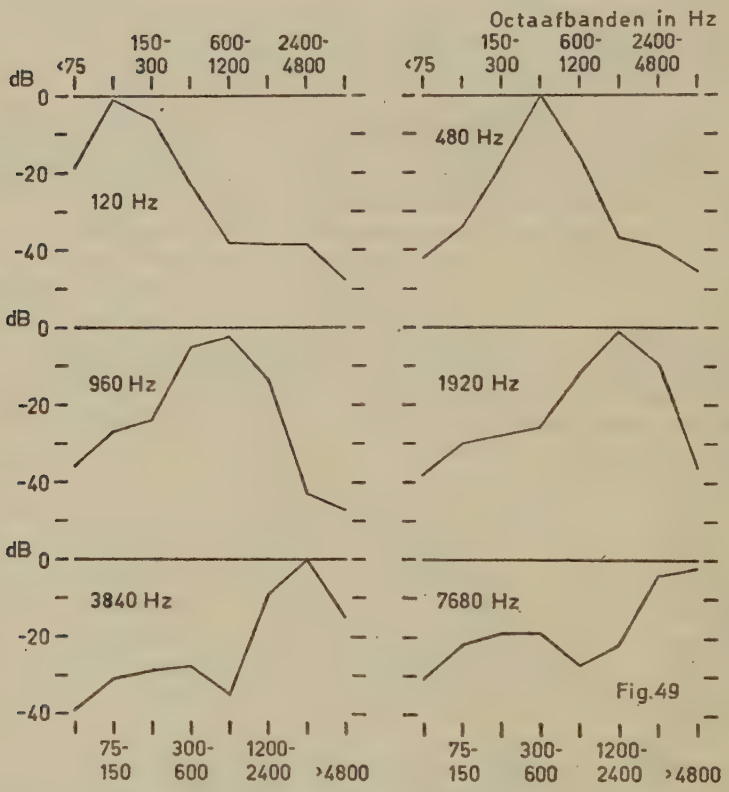
Waarneming bij vier proefpersonen met normaal drempelaudiogram

	Centrale frequentie van de octaafbandfilters									Ongefilterd	
Bandmidden	120	480	960	1920	1920	1920	3840	3840	7680	totaal	
Intensiteit in dB	100	100	100	100	90	80	90	80	80	100	90
Aantal oren	4	4	5	3	4	4	4	4	4	5	6
Frequentie in Hz											
125	0	−1½	1	4	¾	½	0	0	0	1	0
250	3½	½	1½	4½	1½	½	0	1½	0	0	0
500	2½	1½	½	− ¾	1½	½	0	½	0	¼	0
1000	0	− ½	1½	4	¾	0	0	½	0	½	0
1414	0	− ½	2½	10	1	0	0	1	0	1	0
2000	0	0	3½	*19*	3½	¾	2½	1¾	0	4½	1½
2828	− ½	0	2¾	*26¾*	9½	3½	*8½*	4½	0	*10½*	4½
3372	−2½	0	2½	*26¾*	*11½*	5	*15½*	*7¾*	1½	*15½*	*5¾*
4000	−1½	1½	2¾	*30*	*17*	5½	*24½*	*13*	9½	*15¾*	*8¾*
4768	0	4¾	4	*23¾*	*13½*	3½	*21*	*14¾*	*13½*	*18*	*13*
5657	1	4½	4½	*15¾*	*14*	2¾	*22½*	*12*	*16*	*17½*	5
6727	2½	3	4½	*12½*	8	½	*24¾*	5½	*13¾*	*14½*	1
8000	5	¼	¼	7¾	6¾	1½	*19*	¼	2½	*10½*	1½
10000	6¾	−2	¼	5¾	8½	3	5¾	0	− ¾	6¼	− ¼

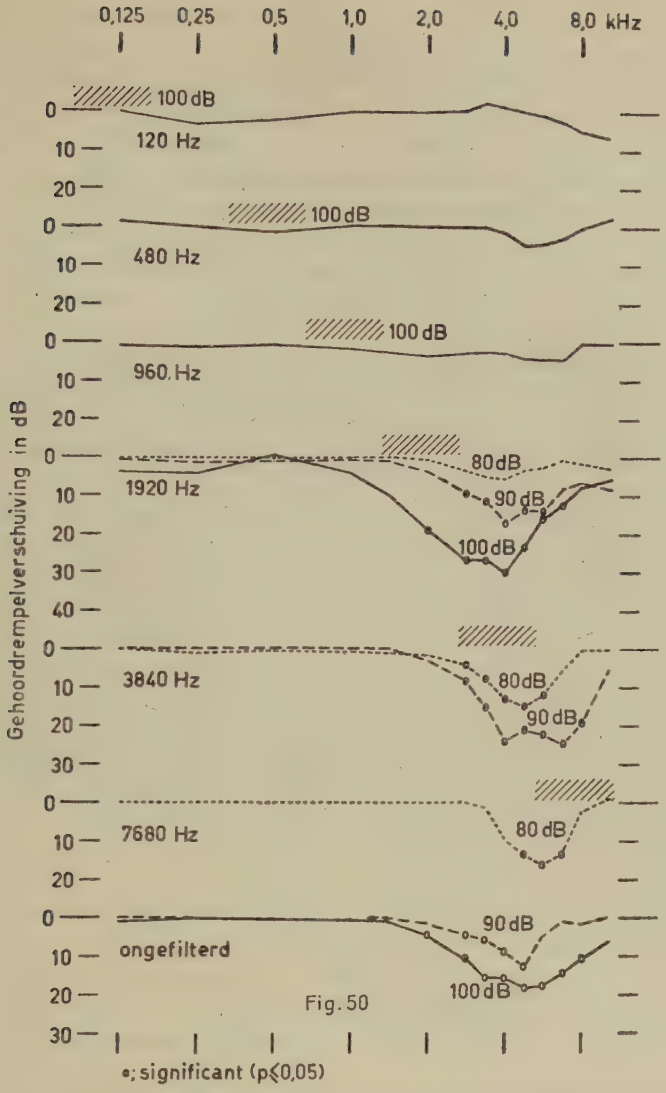
Cursief = statistisch significant (5% grens).



FIGUUR 48 - De spectra van het lawaai, gebruikt bij het onderzoek van de tijdelijke gehoordrempelveranderingen door kortdurende inwerking van fabriekslawaai [intensiteitverschillen in dB per octaaf ten opzichte van het totale niveau].



FIGUUR 49 - De spectra van het via octaafbandfilters opgenomen fabriekslawaai [intensiteitverschillen in dB per octaaf ten opzichte van het totale niveau].



FIGUUR 50 - Drempelverschuiving door expositie gedurende 5 minuten aan verschillende componenten van fabriekslawaai [4 proefpersonen].

Uit deze gegevens kan men concluderen dat de gehoorvermoeidheid door het inwerken van matig brede lawaaibanden dezelfde kenmerken vertoont als door het blootstellen aan zuivere tonen. Alleen na belasting met lawaai, dat via het 7680 Hz-filter opgenomen was, vertoont de curve een verliesmaximum bij frequenties, die lager zijn dan het midden van het octaaffilter. Uit figuur 49 blijkt echter, dat de geluiddruk van deze lawaai-opname over de hoogste twee octaven ongeveer gelijk verdeeld is.

Blijkbaar geven de zeer hoge prikkelfrequenties bij de gebruikte intensiteiten geen vermoeidheid. Van Gool vond, dat voor prikkeltonen van 2000-6000 Hz het vermoeiende effect gelijk bleef, wanneer de sterkte een gelijk aantal decibels boven de normale gehoordrempel bedroeg. Daar de drempelgevoeligheid voor tonen boven 4000 Hz afneemt, zal ook het vermoeidheidseffect daarvan verminderen, wanneer men de intensiteit niet ten opzichte van de physiologische nulcurve, maar zoals hier in dB boven 0,0002 dyne/cm^2 uitdrukt. Het is dus begrijpelijk, dat de frequenties rond 3840 Hz een grotere dip geven dan die rond 7680 Hz. Men zou pas een gelijk effect kunnen verwachten, wanneer het octaaf rond 7680 Hz 15 dB sterker wordt aangeboden dan het octaaf rond 3840 Hz, daar het normale oor bij gehoordrempelbepalingen met een luidspreker voor 3840 Hz 15 dB gevoeliger is dan voor 7680 Hz.

Bij expositie aan bandruisen uit verschillende octaven zullen de resulterende tijdelijke gehoorverliezen telkens in een ander frequentiegebied liggen. Soms zullen deze gebieden elkaar overlappen. Stelt men nu het oor aan twee van deze ruisen tegelijk bloot dan zal men, wanneer in het overlappingsgebied de drempelverschuiving niet of slechts weinig groter is dan bij expositie aan een der ruisen afzonderlijk, mogen aannemen dat van elke octaafbandruis de invloed op de gehoordrempel onafhankelijk is van een gelijktijdige inwerking van ander geluid. Men kan dan uit de tijdelijke dips, die volgen na inwerking van octaafbandruisen afzonderlijk, de drempelverschuiving berekenen, die zal ontstaan na inwerking van een willekeurig lawaai, waarvan de octaafband-analyse bekend is. Zoals later uit figuur 90 zal blijken, is dit slechts mogelijk voor het frequentiegebied dat getroffen zal worden, maar niet voor de grootte van de gehoordrempelverandering.

Hoofdstuk VI

DE HINDER VAN DE BEROEPSHARDHORENDHEID VOOR DE GETROFFENE

De lawaaidoofheid ontwikkelt zich zo langzaam en geleidelijk, dat zelfs grote gehoordefecten subjectief onopgemerkt kunnen blijven, doordat de betrokkene aan de verminking van spraak en muziek gewend is geraakt en onbewust geleerd heeft gebaren en mondbewegingen te interpreteren. In de eerste weken van het werken in lawaai zijn de meesten zich bewust van de sterkte van het geluid en het na werktijd bestaande doffe gevoel in de oren, alsof er een prop watten in zit. Na enige dagen of weken zijn ze er aan gewend en pas jaren later ontstaan andere lasten, afgezien van vaak reeds vroeg opgetreden oorsuizen. Het eerste doofheidsymptoom is het moeilijker verstaan in gezelschap. Een conversatie, waar verscheidene personen aan deelnemen, kan niet meer worden gevolgd. Ook wordt het voeren van een gesprek gestoord, wanneer er in de kamer tegelijk een ander gesprek bezig is of wanneer de radio aanstaat. Kerkbezoek, het volgen van vergaderingen, lezingen, hoorspelen wordt onmogelijk. Schrijdt de hardhorendheid verder voort dan moet zelfs het gewone gesprek veel luider gevoerd worden om volledig begrijpen mogelijk te maken. Luid roepen aan het oor kan soms al onaangenaam en pijnlijk gevonden worden terwijl het nog geen goed verstaan heeft teweeggebracht. Paracusis Willisii, dus beter verstaan van het gesprokene in een omgeving, waar al een vrij hoog lawaainiveau van bijvoorbeeld 80 à 90 dB is, vindt men onder echte lawaaidoven zelden, zo ooit. Dit verschijnsel is typerender voor otosclerose, waar een basdoofheid bestaat en dus de storende invloed van lage tonen niet zo sterk is.

Ramsdell onderscheidt in psychologische zin drie hoorsferen, namelijk:

1. De sfeer van het sociale contact, het verstaan van woorden (symbolic level).

2. De sfeer van de „qui vive", het horen van betekenisvolle geluiden als signalen en muziek (signal or warning level).

3. De sfeer van de achtergrond, de steeds veranderende geluiden van het dagelijkse leven, die niet bewust gehoord worden (primitive level). Ze worden niet beluisterd maar slechts onbewust beleefd, tenzij men een signaal volgt of het geluid als geheel een betekenis heeft, zoals het ruisen van de zee of gebladerte.

De tekortkomingen op het eerste en tweede niveau kunnen door oefening en een hoorprothese soms gecompenseerd worden. De stilte in de derde sfeer geeft echter aan de betrokkenen het gevoel, dat ze niet langer deelnemen aan de levende, actieve wereld en hierdoor ontstaat de kenmerkende depressieve geestestoestand van de doof geworden volwassene. Ramsdell doelt hierbij in het bijzonder op volwassenen, die vrij plotseling tamelijk ernstig doof worden, zoals oorlogsinvaliden. Hiertegenover is bekend, dat doof-geboren of vroeg doof geworden kinderen niet onder zulk een depressie te lijden hebben.

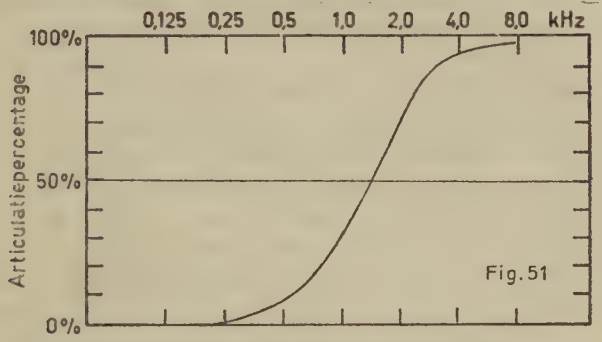
Gezien de wijze, waarop de beroepshardhorendheid zich ontwikkelt, zijn voor de lawaaidove gunstige facetten te noemen. Door de langzame ontwikkeling treedt een geleidelijke gewenning en aanpassing op. De gehoorscherpte in de lagere octaven vermindert niet, waardoor vele geluiden en signalen normaal hoorbaar blijven, omdat het omgevingslawaai een laag toonkarakter heeft. (Bij hoge geluiden is het oor als waarschuwings-orgaan voor gevaren onwerkzaam geworden.) Het „primitieve" contact met de omgeving blijft behouden. De dove industrie-arbeider lijdt dan ook opvallend weinig onder zijn gebrek en accepteert het over het algemeen als een vanzelfsprekende consequentie van zijn werk. Helaas zijn daartegenover en deels ook juist daardoor de mogelijkheden tot compensatie van het verlies in de sfeer van het sociale contact (het spraakverstaan) door middel van hoortoestel en training voor de beroepsdove juist veel ongunstiger dan bij vele andere patiënten, die acuut doof zijn geworden. De redenen hiervan zijn: de uitgesproken discantdoofheid en de abnormale luidheidfunctie van het beschadigde basilaire membraan. Beide storen, elk op andere wijze, het verstaan van spraak. Door de discantdoofheid neemt niet zo zeer de totale luidheid van de spraak af, maar de verzwakking van het hogere gedeelte van het geluidspectrum geeft vervorming van het spraakpatroon. Als de hoge trillingen niet of slecht gehoord worden, zullen alle phonemen (spraakonderdelen) met formanten in dit frequentiegebied niet juist meer vernomen worden.

Het verstaan van medeklinkers wordt hierdoor het eerst en het sterkst getroffen. Hoezeer dit de gehoorde spraak verminkt kan men zich snel realiseren, wanneer men van een korte zin alleen de klinkers opschrijft en dan tracht deze te ontcijferen. Een zin waaruit de klinkers zijn weggevallen is gemakkelijk te lezen, maar zonder medeklinkers is ze moeilijk of in het geheel niet te begrijpen. Een discantdove hoort wel dat er gesproken wordt, maar kan het niet verstaan, zoals men een gesprek uit een aangrenzend vertrek hoort, doch niet kan volgen.

Volgens onderzoekingen van Huizing & Molenaar-Bijl was in 10 000 woorden beschaafd Nederlands proza het percentage medeklinkers 61, dat der klinkers 35,7, dat der tweeklanken 3. Hiervan bedroeg het aantal lage klinkers en tweeklanken (oo, oo(r), ó, ò, ooi, oe, oei) nog geen vijftien procent van de totale klinkerfrequentie (5% van het totaal aantal pho-

nemen). Men ziet dus, dat de lage spraakfrequenties voor het verstaan betrekkelijk geringe waarde hebben. Het spraakgehoor van basdoven is lang niet zo zeer gestoord als dat van discantdoven.

Bootst men een discantdoofheid na door uit de aangeboden spraak alle frequenties hoger dan een gegeven frequentie uit te filteren, dan neemt, naarmate men deze afsnijfrequentie lager kiest, het articulatiepercentage af (zie figuur 51). Men ziet, dat bij een afsnijfrequentie van ongeveer 1500 Hz 50% lettergreeparticulatie is bereikt. Dit was vóór 1945 de situatie bij gewoon, intercommunaal telefoonverkeer. Het komt overeen met een bijna maximale verstaanbaarheid voor zinnen (zie



FIGUUR 51 - Het verband tussen het articulatiepercentage voor lettergrepen en de bovengrens van het doorlaat-gebied van een filter, dat van de aangeboden spraak de lage tonen wel, maar de hoge niet doorlaat. Men ziet dat, wanneer de tonen boven 1500 Hz uit de aangeboden spraak weggenomen zijn, de lettergreep-verstaanbaarheid toch nog 50% bedraagt, wat volgens tabel 7 een zinnen-verstaanbaarheid van 96% meebrengt. [Ontleend aan Kryter, naar gegevens van French & Steinberg]

tabel 7), omdat, zoals reeds werd besproken, de informatietheorie ons leert, dat men uit zinsverband en door ervaring toch veel goed kan raden. Lidén vond overeenkomstige getallen voor lawaaidoven met steil afvallende audiogramcurves bij verschillende frequenties tussen 500 en 3000 Hz.

Behalve door zijn partiële doofheid wordt de lawaaidove ook in het verstaan van spraak gehinderd doordat het gehoorverlies voor de hogere frequenties regressie vertoont. Hierdoor ontstaat een vervorming van het luidheidspatroon van de spraak.

Het normale oor kan reeds spraak verstaan op 20 dB boven het drempelniveau. Boven 80 dB wordt de verstaanbaarheid weer slechter. Dit verschil van 60 dB is de spraakspan. De genoemde getallen zijn echter gemiddelden van de geluiddrukken, die immers tijdens het spreken voortdurend variëren. De trillingen van de klinkers hebben groter amplitudo, dus meer energie dan de medeklinkers. De piekwaarden liggen volgens Kryter van 7-17 dB (voor lage, resp. hoge frequenties) boven de gemiddelde waarden. Deze fluctuaties worden door de regressie overdreven.

Er werd reeds op gewezen, dat de index vocalis bij lawaaidoofheid klein is. Ook dit is deels een gevolg van de regressie. De luide spraak wordt verhoudingsgewijs veel beter gehoord dan het zachte fluisteren.

Eenvoudige geluidversterking met een hoorapparaat, hetgeen bij geleidingsdoofheid de drempelverhoging goed kan compenseren, heeft bij lawaaidoofheid in het gunstigste geval slechts een gedeeltelijke verbetering ten gevolge. Bij toenemende versterking wordt al spoedig een

TABEL II

Gehoorverliespercentage

(Naar E. P. Fowler en P. E. Sabine)

Gehoorverlies in dB	512	1024	2048	4096 Hz
0	0,0	0,0	0,0	0,0
5	0,0	0,0	0,0	0,0
10	0,2	0,3	0,4	0,1
15	0,5	0,9	1,3	0,3
20	1,1	2,1	2,9	0,9
25	1,8	3,6	4,9	1,7
30	2,6	5,4	7,3	2,7
35	3,7	7,7	9,8	3,8
40	4,9	10,2	12,9	5,0
45	6,3	13,0	17,3	6,4
50	7,9	15,7	22,4	8,0
55	9,6	19,0	25,7	9,7
60	11,3	21,5	28,0	11,2
65	12,8	23,5	30,2	12,5
70	13,8	25,5	32,2	13,5
75	14,6	27,2	34,0	14,2
80	14,8	28,8	35,8	14,6
85	14,9	29,8	37,5	14,8
90	15,0	29,9	39,2	14,9
95		30,0	40,0	15,0%

De met het gehoorverlies voor de vier aangegeven frequenties overeenkomende percentages worden voor elk oor afzonderlijk samengeteld.

Zevenmaal de som voor het beste oor, vermeerderd met eenmaal de som voor het andere oor en daarna gedeeld door acht, geeft het gehele verlies aan bruikbaar gehoor weer als percentage van normaal.

Voorbeeld:

Het gehoorverlies-percentage van het audiogram weergegeven in fig. 2 bedraagt

frq. in Hz	links	rechts	
512	0,0	0,0	$7 \times 52{,}5 = 367{,}5$
1024	7,7	10,2	$1 \times 60{,}2 = 60{,}2$
2048	30,2	35,8	
4096	14,6	14,2	$427{,}7 : 8 = 53{,}5\%$
	52,5	60,2	

optimale verstaanbaarheid bereikt. Verdere versterking verbetert de verstaanbaarheid niet meer en deze wordt zelfs, zoals Reyntjes heeft beschreven, weer slechter. Ook met extra versterking van de hoge tonen en automatische volumeregeling is de verbetering van het spraakverstaan vaak teleurstellend gering.

Ten behoeve van eventuele schade-uitkeringen wordt de invaliditeit van de lawaaidove uitgedrukt als percentage van het normale gehoor. Een eenvoudige, veel gebruikte methode is het quotiënt van de afstand, waarop de fluisterstem gehoord wordt en de afstand, waarop de normale deze hoort. De bezwaren ertegen werden reeds beschreven, namelijk het grote gehalte aan hoge frequenties van de fluisterspraak, vergeleken met de omgangsspraak en verder de onstandvastigheid van de sterkte, waarmee gesproken wordt.

Moderne methoden gaan uit van het audiogram en wel van enkele frequenties uit het spraakgebied. De eenvoudigste is die van Fletcher. Hierbij wordt 0,8 maal het gemiddelde van de gehoorverliezen bij 500, 1000 en 2000 Hz beschouwd als gehoorverliespercentage. Een verbetering is de methode, aangeraden door de American Medical Association (tabel 11). Hierbij neemt men aan dat bij verschillen in gevoeligheid van de beide oren het beste oor zeven maal zo belangrijk is als het slechtste. Fowler publiceerde afzonderlijk nog een variatie van deze methode, die echter niet algemeen aanvaard is, omdat ze geen essentiële verbetering betekent.

Het spreekt vanzelf dat er ook een methode is om de bekwaamheid tot spraakverstaan uit het spraakaudiogram te berekenen. Hierbij neemt men het gemiddelde van de articulatiepercentages bij de intensiteiten van zachte, normale en luide conversatie. Silverman & Davis hebben hiervoor aangegeven 55, 70 en 85 dB boven 0,0002 μbar. Ze noemden het gemiddelde de „Social Adequacy Index" (S.A.I.).

Hoofdstuk VII

DE GRENS TUSSEN SCHADELIJKE EN ONSCHADELIJKE LAWAAINIVEAU'S IN DE INDUSTRIE

Onder het nog juist niet schadelijke geluidsterkteniveau zal men in de industrie moeten verstaan: het hoogste lawaainiveau, dat ondanks telkens herhaalde en vele jaren voortgezette inwerking op het normale menselijke oor, geen belangrijke veranderingen in de gehoorscherpte ten gevolge heeft. Hierbij wordt voorondersteld, dat de grootte van een uiteindelijk optredende gehoorschade afhankelijk is van de intensiteit van het lawaai, zodat een bepaald lawaainiveau ten hoogste een bepaalde grootte van gehoorverlies kan veroorzaken.

Het is ondoelmatig om in dit verband aan geringe afwijkingen in het audiogram aandacht te schenken. Alleen wanneer het een arbeider betreft, die pas korte tijd lawaaiig werk verricht, zijn kleine gelocaliseerde drempelveranderingen als begin-symptoom der lawaaidoofheid van belang. Zolang voor frequenties van 1500 Hz en lager geen groter gehoorverlies dan 10-15 dB bestaat, de dip niet breder is dan $1\frac{1}{2}$ octaaf en hoger ligt dan 2000 Hz, is er geen merkbare invloed op het verstaan van spraak.

De beroepshardhorendheid resulteert uit dagelijks opnieuw optredende gehoorvermoeidheid, die behalve van de intensiteit ook afhangt van de frequentie van de geluidprikkel. Men meet daarom niet de sterkte van het totale lawaai, maar van afzonderlijke frequentiegebieden. Voor directe metingen in de bedrijven beperkt men dit tot een analyse in de reeds beschreven octaafbanden.

Er zijn geen aanwijzingen dat men voor de bestudering van de schadelijkheid de spectrumanalyse nog verder behoeft te verfijnen, behalve wanneer het lawaai een zeer uitgesproken toonkarakter heeft.

Talloos zijn de mededelingen over een limiet voor onschadelijkheid van lawaai, die uitgaat van het totale niveau in dB. Sterner stelde een enquête in, waarvan de conclusie luidde dat terzake kundige otologen, bedrijfsartsen, enz. minder dan 85 dB totaalniveau zeker onschadelijk en meer dan 105 à 110 dB zeker schadelijk achtten.

Latere onderzoekers baseren hun criteria voor schadelijkheid op de spectrumanalyse. Kryter achtte minder dan 85 dB per critische band ook bij langdurige expositie niet schadelijk. Beranek heeft echter terecht gemeend dat het risico van de lagere frequenties veel gunstiger ligt.

Het door Parrack gepubliceerde Deafness Risk Criterion gaat uit van de gegevens van Kryter en Beranek, omgerekend voor octaafband-metingen (zie figuur 52). Komt de curve van het lawaaispectrum ergens boven deze lijn uit, dan wordt het schadelijk geacht.

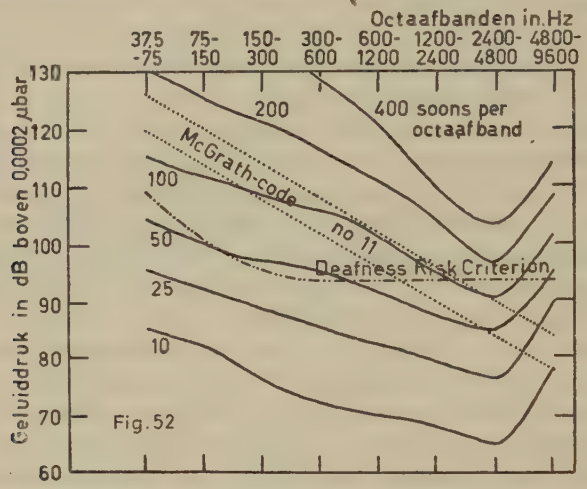
McGrath zocht te komen tot een „equivalent impairment level", tot een weergeven in één waarderingsgetal van de schadelijkheid van industrielawaai. Deze wordt groter bij langere expositie en hoger geluidniveau; is de expositieduur gelijk, dan maakt het nog verschil of het lawaai intermitterend, continu of van wisselende sterkte is en verder is van invloed of de samenstelling van het lawaai vooral uit hoge of uit lage tonen bestaat. Daarom gaf McGrath enerzijds een methode om bij discontinu lawaai een correctiefactor toe te passen, waardoor het met continu lawaai vergeleken kan worden en anderzijds een methode om met de samenstelling van het spectrum rekening te kunnen houden. Hij neemt aan dat een octaafband een 6 dB grotere intensiteit moet hebben dan de ernaast liggende hogere om even schadelijk te zijn, omdat bij opeenvolgende octaven het aantal trillingen verdubbelt en dubbele geluiddruk 6 dB versterking betekent.

De geluiddrukken van elke band van het octaafbandspectrum van het fabriekslawaai worden ten opzichte van de 600-1200 Hz-band „gewogen", gekwadrateerd en samengeteld. McGrath acht lawaai, dat naar de schadelijkheid overeenkomt met 96-101,9 dB in de 600-1200 Hz-band, een overgangsgroep (zie figuur 52). Minder sterk lawaai is waarschijnlijk niet, sterker lawaai is zeker wel schadelijk. Een bezwaar is de zuiver mathematische schatting van de schadelijkheid. Verdubbeling van het aantal trillingen betekent verdubbeling van geluidenergie, maar niet van geluiddruk. Bij gelijke geluidsterkte per frequentie is er volgens tabel 4 dus een verschil van 3 dB tussen opeenvolgende octaven. Daarbij komt weliswaar nu nog het verschil in schadelijkheid tussen hoge en lage zuivere tonen, maar of dit verdisconteerd kan worden in een extra verschil van 3 dB per octaaf is in strijd met bevindingen als die van Van Gool, Rol e.a. De McGrath-code is te optimistisch voor de lage, te pessimistisch voor de zeer hoge tonen.

Hardy is uitgegaan van berekeningen van Fletcher over de dynamica van het oor, dat wil zeggen: de efficiëntie van het oormechanisme om tonen over te brengen op het basilaire membraan. Het blijkt nu, dat de krommen voor gelijke luidheid en de berekende krommen voor gelijke trillingsamplitudo op het basilaire membraan zo sterke overeenkomst vertonen, dat hij aannam dat de luidheid een directe functie is van de energiedichtheid op het basilaire membraan en onafhankelijk is van de frequentie. De luidheid zou dus direct afhankelijk zijn van de sterkte van de prikkeling der zenuwuiteinden, waardoor de curves voor gelijke luidheid ook curves voor gelijke schadelijkheid zullen zijn. Dit lijkt in strijd met het belangrijke verschil in grootte der experimentele dips

veroorzaakt door 1000 en 2000 Hz, terwijl er tussen beide tonen slechts een gering verschil in luidheid is.

De schadelijkheidsgrenzen liggen volgens Hardy als volgt: niet meer dan 50 soons in één der gemeten octaven is onschadelijk; meer dan 100 soons in één van de gemeten octaven is zeker schadelijk; daartussen is een overgangsgebied ter breedte van ongeveer 9 dB. 50 Soons komt ongeveer overeen met ruim 90 foon, 100 soons met 103 foon.



FIGUUR 52 - Vergelijkend overzicht van de classificaties van lawaai in verband met de invloed op het optreden van beroepshardhorendheid.

De criteria voor schadelijkheid en de bij eigen onderzoek verkregen gegevens

Van de geluidspectra, die in de Dordtse bedrijven werden gemeten, werd de schadelijkheid berekend volgens het totale niveau in dB en in soons, volgens Hardy naar de hoogste soon-waarde van de afzonderlijke octaafbanden, volgens de codering van McGrath en volgens het Deafness Risk Criterion van Beranek c.s. (zie tabel 5). Rangschikt men de spectra volgens een bepaald kenmerk, dan kan men ze een nummer in deze volgorde geven. In tabel 12 zijn voor elk der genoemde criteria de volgnummers van de twintig verschillende spectra weergegeven.

De totale rangschikking is zodanig gekozen dat bovenaan de zeker schadelijke, onderaan de in ieder geval onschadelijke niveau's staan. Uit de vergelijking der getallen voor de onderscheidene criteria blijkt, dat bij deze „normale", dat wil zeggen vrij vlakke, industriële spectra het er weinig toe doet van welke beoordelingsmethode men uitgaat. Wanneer echter de grootste geluidenergie in het gebied van de lage frequenties voorkomt, moet men een keuze maken.

Het is nu de vraag in hoeverre deze theoretische ordening overeenkomt met de practische schadelijkheid van het lawaai voor het gehoor van de arbeider. Hierover kan men zich slechts een oordeel vormen, wanneer

TABEL 12

In onderstaande tabel wordt aangegeven hoe voor alle spectra het getal is, dat hun plaats van volgorde aangeeft, indien men ze naar het boven de kolom vermelde criterium rangschikt

Afdeling	Totaal niveau		Hoogste octaafwaarde		Mc Grath code	Deafness Risk Criterion	
	in dB	in soons	in dB	in soons			
Scheepswerf							
in het ruim	1	1	1	1	1	schadelijk	Zeker schadelijk
klinken	2	2	2	2	2–5	id.	
koken	4	3	4–5	4	2–5	id.	
Constructiebedrijf							
hakken (2 man)	3	4	3	5	2–5	id.	
hakken (1 man)	5	5	4–5	3	2–5	id.	
hakken (bordes)	6	6	6	6	6–7	id.	
Chocoladefabriek							
Lehmann-Savy-afd. (2 machines)	8	7	8	7	6–7	id.	
Lehmann-Savy-afd. (1 machine)	7	8	7	8	8	id.	Grensgebied volgens: *a*) Beranek &c. (Deafness Risk Crit.)
Lehmann-Savy-afd. (2e meting)	9–10	9	9	9–10	9–11	?	
Praletta-afd.	9–10	10	10–11	9–10	9–11	?	
Meetinstrumentenfabriek							
perslucht	11	11	10–11	12	9–11	onschadelijk	*b*) Hardy
steekbeitel	14	12	15	11	12–13	id.	
compressoren	12	13	12	14	14–19	id.	*c*) Mc Grath
automaten	15–16	14–15	17	16	12–13	id.	
Electromotorenfabr.							
ponserij	17	16	16	15	14–19	id.	
Chocoladefabriek							
enrobeuse-afd.	13	14–15	13	17	14–19	id.	Zeker onschadelijk
Biscuitbakkerij	15–16	17	14	13	14–19	id.	
Sigarettenfabriek							
tussen machines	18	18	18	18	14–19	id.	
Constructiefabriek							
algemeen niveau	20	19–20	19	19	14–19	id.	
Sigarettenfabriek							
bij controleuse	19	19–20	20	20	20	id.	

men het gehoor van de personen, die in dit lawaai werken, heeft onderzocht. Daartoe werden dan ook van de arbeiders uit de betrokken afdelingen audiogrammen gemaakt, die in de figuren 21-47 zijn bewerkt.

Door de Afdeling Bewerking Waarnemingsuitkomsten T.N.O. werd van de arbeiders van 40 jaar of jonger (ter vermindering van de invloed van presbyacusis) uit twaalf afdelingen voor acht toonfrequenties nagegaan, of het gemiddelde gehoorverlies per frequentie in een bepaalde afdeling „significant" afweek van het gemiddelde voor die frequentie in de normale groep. Een afwijking werd significant geacht, als de kans,

dat een zodanige of grotere afwijking door toevallige omstandigheden veroorzaakt werd, kleiner was dan 5 %, zo er in werkelijkheid tussen de beide groepen van meetgetallen (universa) geen verschil zou zijn. Uit dit onderzoek, waarvan tabel 13 een overzicht geeft, bleek dat in alle afdelingen significante afwijkingen van de norm aanwezig waren. Slechts in één afdeling was dit alleen in de hoogste twee frequenties te vinden. Het betrof hier de meisjes van de sigarettenmachine-afdeling en wel de audiogrammen, opgenomen 's morgens vóór werktijd. De werkelijke afwijking van het gemiddelde is, volgens figuur 22, slechts klein, namelijk 5 dB. Zo dit al op acustisch trauma berust, is het voor deze afdeling als geheel toch minimaal.

Men mag hieruit echter niet concluderen, dat het lawaai in alle andere afdelingen dus schadelijk is. Niet elke drempelverandering mag als belangrijke gehoorschade opgevat worden, zoals uit het besprokene in de hoofdstukken 4 en 6 is gebleken. Het audiogram kan immers schijnbare verliezen vertonen door verscheidene oorzaken, waarvan bij de gebruikelijke onderzoek-outillage de maskering een van de belangrijkste is. Afwijkingen van 10-20 dB of meer kunnen het gevolg zijn. In feite is de nulcurve, die men voor de audiometer heeft vastgesteld, ook reeds door maskering beïnvloed en dus zijn kleine drempelveranderingen van bijvoorbeeld minder dan 10 dB ten opzichte van de absolute, onder optimale omstandigheden opgenomen gehoordrempel gewoonlijk niet meetbaar. Verder is in het dagelijkse leven, vooral omdat het verstaan van spraak de belangrijkste functie van het oor is, zelfs een afwijking tot 30 dB van de gebruikelijke nulcurve niet bijzonder storend, temeer als het verlies slechts plaatselijk is. Bovendien moest om practische redenen in verscheidene afdelingen genoegen worden genomen met het bepalen van de gehoordrempel in de loop van de werkdag, zodat ook audiogrammen met tijdelijke veranderingen door lawaaivermoeidheid in de statistiek zijn opgenomen.

Ter vermijding van tijdrovend en onnodig rekenwerk werd gepoogd de belangrijkste kenmerken van het audiogram in slechts enkele gehoorverlieswaarden weer te geven. Reeds Beasley heeft voor een groot aantal willekeurig gekozen audiogrammen van allerlei aard nagegaan, of de correlatie tussen de gehoorverliezen bij verschillende frequenties zo groot is, dat men voor de praktijk kan volstaan met enkele daarvan te bepalen. Hij concludeerde, dat het voldoende is het gehoorverlies in het basgebied bij 500 Hz, in het middengebied bij 2000 Hz vast te stellen (de correlatie tussen 1000 en 2000 Hz is bij vrouwen beter dan bij mannen), maar boven 2000 Hz zal men nog ten minste twee bepalingen moeten verrichten. Daar het voor de hand lag dat dit onderling verband sterker wordt, als men uitsluitend audiogrammen van lawaai-arbeiders bewerkt, heeft de Afdeling Bewerking Waarnemingsuitkomsten T.N.O. deze correlaties voor ons bepaald uit de in tabel 13 bedoelde audiogrammen.

TABEL 13

Overzicht van de resultaten van de statische bewerking door de Afdeling Bewerking Waarnemingsuitkomsten T.N.O.

Hierbij werden, telkens voor acht afleespunten (frequenties), de audiogrammen van een groep „normalen" vergeleken met die van de onderzochte afdelingen. Hierbij werd gebruik gemaakt van de toets van Wilcoxon, die dient om na te gaan of van twee series meetgetallen de gemiddelden zodanig verschillen, dat men een werkelijk bestaand verschil aan mag nemen tussen de twee gemeten verschijnselen.

Verklaring: zs; verschil zeer significant ($P \leq 0{,}01$)
s; verschil significant ($P \leq 0{,}05$)
o; verschil niet significant ($P > 0{,}05$)

Fabriek en afdeling	0,25	0,5	1,0	2,0	2,8	4,0	5,6	8,0 kHz
	linker oor							
Chocoladefabriek								
enrobeuse-afd.	zs	zs	zs	zs	s	zs	zs	s
Praletta-afd.	s	o	zs	zs	zs	zs	zs	zs
Lehmann-Savy-afd.	o	o	o	zs	zs	zs	zs	s
Biscuitbakkerij	s	o	zs	zs	zs	zs	s	zs
Sigarettenfabriek								
machine-kamer	o	o	o	o	o	o	zs	o
Electromotorenfabriek								
ponserij	o	o	o	zs	zs	zs	zs	s
Constructiebedrijf								
ketelmakerij	s	o	zs	zs	zs	zs	zs	zs
draaiers	zs	zs	zs	zs	zs	zs	zs	zs
gereedschapm.	o	o	o	zs	zs	zs	zs	zs
lichte pltw.	s	o	zs	zs	zs	zs	zs	zs
zware pltw.	o	o	o	zs	zs	zs	zs	zs
leerschool	o	o	o	zs	zs	zs	s	o
	rechter oor							
Chocoladefabriek								
enrobeuse-afd.	zs	zs	zs	s	s	zs	zs	s
Praletta-afd.	o	o	s	zs	zs	zs	zs	zs
Lehmann-Savy-afd.	o	o	s	zs	zs	zs	zs	zs
Biscuitbakkerij	o	o	s	zs	zs	zs	s	s
Sigarettenfabriek								
machine-kamer	o	o	o	o	o	o	zs	s
Electromotorenfabriek								
ponserij	o	o	o	zs	s	zs	zs	zs
Constructiebedrijf								
ketelmakerij	o	o	s	zs	zs	zs	zs	zs
draaiers	zs	s	zs	zs	zs	zs	zs	zs
gereedschapm.	o	o	s	zs	zs	zs	s	zs
lichte pltw.	o	o	s	zs	zs	zs	zs	zs
zware pltw.	o	o	o	zs	zs	zs	zs	zs
leerschool	o	o	s	s	s	o	o	o

Hierbij werd nagegaan, welke van de bepalingen men kon laten vervallen, daar ze voldoende uit de naastliggende konden worden voorspeld. Van de frequenties 0,25; 0,5; 1,0; 1,4; 2,0; 2,8; 4,0; 4,8; 5,7; 6,7 en 8,0 kHz bleek dit mogelijk voor 0,5 kHz en in geringe mate voor 6,7 kHz. Voor het discantgedeelte rond 4,0 kHz mag men dus niet volstaan met frequentiestappen groter dan een kwart octaaf. De door Beasley aangegeven werkwijze is dus niet nauwkeurig genoeg.

Wij meenden dan ook, dat het audiogram niet voldoende gekarakteriseerd kon worden door het vermelden van het gehoorverlies bij enkele vaste frequenties. Belangrijker dan het verlies voor een frequentie is het verlies in een bepaalde zône, bijvoorbeeld in het gebied der lage of der hoge tonen, dan wel in het gebied, waar het acustische trauma optreedt; vooral dient men te weten of het critische gebied voor het verstaan van spraak getroffen is. Een volledige, kenmerkende omschrijving van een audiogram van één oor zal dus uit vier getallen moeten bestaan:

1. Een getal, dat de baszijde karakteriseert. Gekozen werd de mediaan der verliescijfers voor 125, 250 en 500 Hz.

2. Een getal, dat belangrijk is voor de beoordeling van de spraakverstaanbaarheid. Gekozen werd het verliescijfer voor 1,4 kHz.

3. Een getal, dat de gehoorschade in het gebied van de lawaaidip aangeeft. Gekozen werd het grootste getal, dat als gemiddelde van de verlieswaarden van twee naast elkaar liggende frequenties der reeks 2,0; 2,8; 3,4; 4,0; 4,8 en 5,7 kHz gevonden kon worden. Een gemiddelde van twee frequenties werd genomen, omdat bij een smalle, maar toch diepe, spitse dip het gehoorverlies bij het maximum een onjuiste indruk van de omvang van de lawaaischade kan geven. Het gebruikte cijfer drukt ongeveer uit: het diepste punt, waar de dip een kwart octaaf breed is.

4. Een getal, dat de gehoordrempel der zeer hoge frequenties aangeeft. Door vergelijking met het vorige getal is het mogelijk uit te maken of men te doen heeft met een dip of met een geleidelijk toenemende discantdoofheid, zoals kenmerkend is voor presbyacusis. Gekozen werd het kleinste verliescijfer der reeks 6,7; 8,0 en 10,0 kHz.

Deze vier getallen zijn geen gelijkwaardige grootheden. Ze mogen dan ook niet samengeteld worden tot één getal voor „het gehoorverlies" van de betrokken persoon, zoals dit bij de berekening van het gehoorverliespercentage in tabel 11 geschiedt. Naast elkaar geplaatst geven ze echter goed inzicht in de gehoorscherpte.

Voor deze in vier cijfers gecomprimeerde audiogramcode werd door ons statistisch onderzocht of er voor de sigarettenmachine-afdeling significante verschillen waren tussen de audiogrammen opgenomen vóór en na het werk. Het werken in lawaai heeft immers een tijdelijke invloed op de gehoordrempel. Hierdoor kon dus nagegaan worden of na een dag werken in lawaai dat geen belangrijk blijvend trauma geeft, ook tijdelijke drempelveranderingen op kunnen treden. Het verschil bleek

significant te zijn met een overschrijdingskans kleiner dan 0,05 (zie tabel 15).

Om te kunnen beoordelen of dit verschil tussen 's morgens en 's avonds misschien een ook zonder lawaai-invloed optredend verschijnsel is, werd bij een groep van 7 normaal-horende proefpersonen, die kantoorwerk verrichtten, het audiogram opgenomen vóór en direct na het werk. Uit tabel 14 blijkt, dat er geen statistisch significante verschillen optraden. Ook bij een bewerking door ons van door Russi gepubliceerde audiogrammen bleken de verschillen tussen 's morgens en 's avonds niet belangrijk.

TABEL 14

Het gemiddelde en de standaard-deviatie van de gehoordrempel-waarden van 7 personen met normaal gehoor (14 oren). Het audiometrisch onderzoek geschiedde 's morgens om 7.30 uur en 's middags om 16.30 uur. Gedurende de tussenliggende tijd werd kantoorwerk verricht

Frequentie in kHz	Voor het werk		Na het werk		Verschil	
	gemiddeld	standaard deviatie	gemiddeld	standaard deviatie	gemiddeld	standaard deviatie
0,125	−0,7	3,7	−2,6	4,4	−1,9	3,1
0,25	−3,5	4,1	−2,4	3,7	1,1	3,3
0,5	−1,4	3,3	−0,4	3,3	1,0	3,1
1,0	−2,4	2,4	0,3	2,8	2,6	3,0
1,4	−1,8	3,3	0,2	3,9	2,0	2,8
2,0	−1,8	5,0	−0,3	5,2	1,5	3,7
2,8	−0,1	6,3	0,8	6,1	0,9	5,7
4,0	−1,7	5,0	−1,9	4,8	−0,1	3,1
4,8	−1,6	4,4	−2,6	3,3	−1,0	4,4
5,7	0,2	4,6	−1,3	5,9	−1,5	7,6
6,7	0,0	5,4	1,4	10,7	1,3	11,5
8,0	0,8	7,2	2,6	6,5	1,7	5,4
10,0	0,9	7,8	2,6	10,4	1,6	11,3
Gemiddeld		4,8		5,5		5,2 dB

Op grond van de bevindingen bij experimenteel acustisch trauma is er reden om aan te nemen, dat reeds vrij snel na de aanvang van de lawaaiexpositie de gehoordrempelverschuiving door „fatigue" het sterkst is en dat ze daarna gedurende de rest van de werkdag verhoudingsgewijs slechts weinig meer toeneemt. Het is daarom wel zeker, dat de audiogrammen van de afdelingen die in de loop van de werkdag werden onderzocht, ongunstig zijn beïnvloed door een tijdelijke drempelverandering. Daar bij het in tabel 13 weergegeven onderzoek alle afdelingen vergeleken waren met de normale proefgroep, waar uiteraard lawaaiinvloed zoveel mogelijk was vermeden, moest dit ongunstig uitvallen voor enkele afdelingen waarvan geen ochtend-audiogrammen bekend waren. Het is beter om in die gevallen de groep audiogrammen van de sigarettenmachine-afdeling direct na werktijd als vergelijkingsserie te gebruiken. Het lawaai in deze afdeling gaf immers wel een tijdelijk, maar nog geen ernstig blijvend gehoorverlies.

Bij de meeste afdelingen blijkt reeds uit het afdelingsaudiogram, dat er gehoorbeschadiging is opgetreden. Bij enkele echter is dit veel minder duidelijk. Van deze laatste hebben wij de gemiddelde gehoorverliezen volgens de in vier getallen gekarakteriseerde audiogrammen onderling vergeleken. In tabel 15 is weergegeven dat de drempelcurves van de enrobeuse-afdeling der chocoladefabriek, van de leerschool der constructiefabriek en van de biscuitbakkerij, die alle in de loop van de dag opgenomen werden, over het geheel gelijkwaardig geacht kunnen worden aan die van de sigarettenmachine-afdeling na het werk.

TABEL 15

Onderlinge vergelijking van de audiogrammen van de enrobeuse-afdeling (Enr), de ochtend- en avond-audiogrammen van de sigarettenmachine-afdeling (Smo, resp. Sma) van de groep normalen (Nrm), van de leerschool van het constructiebedrijf (Ls) en van de biscuitbakkerij (Bk)

Hiertoe waren de audiogrammen volgens de in de tekst beschreven methode gecodeerd tot vier cijfers, namelijk het gehoorverlies voor de baszijde, 1,4 kHz, het gebied van het acustische trauma van 2,0 kHz tot 6,0 kHz en tenslotte het gebied rond 8,0 kHz

Verklaring der tekens:

o ; verschil tussen de gemiddelden is kleiner dan 1 maal de standaarddeviatie (s). Bij een normale verdeling is de kans, dat dit verschil door toevallige omstandigheden is ontstaan, (de overschrijdingskans P), groter dan 31,7%.

\+ of — ; verschil + of — 1 s tot 2 s; $P = \geqq 4{,}6\%, - < 31{,}7\%$.
\+ + of — — ; verschil + of — 2 s tot 3 s; $P = \geqq 0{,}27 - < 4{,}6\%$.
\+ + + of — — — ; verschil groter dan + of — 3 s; $P = < 0{,}27\%$.

Bij de hier toegepaste toets van Wilcoxon kunnen de uitkomsten afhankelijk zijn van de rangschikking van de meetwaarden der ene serie vóór of na die der andere, wanneer één of meer gelijke waarden zowel in de ene als in de andere serie voorkomen.

Het basgebied

	Nrm	Smo	Sma	Enr	Ls	Bk
Nrm	*	—	+ +	+ + +	o	+ +
Smo	+	*	+ + +	+ + +	+	+ + +
Sma	— —	— — —	*	+ +	— —	o
Enr	— — —	— — —	— —	*	— — —	— —
Ls	o	—	+ +	+ + +	*	+ +
Bk	— —	— — —	o	+ +	—	*

Beschrijving

De sigarettenmachine-afdeling is iets beter dan de normale groep en de leerschool. De afdeling enrobeuses is belangrijk lager dan de andere groepen. Het blootstaan aan lawaai gedurende een dag heeft significante invloed.

De 1,4 kHz

	Nrm	Smo	Sma	Enr	Ls	Bk
Nrm	*	o	+ + +	+ + +	+ + +	+ + +
Smo	o	*	+ + +	+ + +	+ +	+ + +
Sma	— — —	— — —	*	o	— —	o
Enr	— — —	— — —	o	*	— —	o
Ls	— — —	— —	+ +	+ +	*	+ + +
Bk	— — —	— —	o	o	— —	*

De ochtend-audiogrammen van de sigarettenfabriek en de normalen, die onderling niet belangrijk verschillen, zijn duidelijk beter dan de andere groepen. Hiervan is de leerschool weer beter dan de afdeling enrobeuses en de avond-audiogrammen van de sigarettenfabriek, die onderling niet verschillen.

Het gebied van de „dip"

	Nrm	Smo	Sma	Enr	Ls	Bk	
Nrm	*	+ +	+ + +	+ + +	+ + +	+ + +	De normalen zijn hier
Smo	— —	*	+ +	o	o	+	beter dan alle andere
Sma	— — —	— —	*	— —	—	o	groepen. Het onder-
Enr	— — —	o	+ +	*	o	+	ling verschil is bij deze
Ls	— — —	o	+	o	*	+	fabrieksgroepen gering.
Bk	— — —	—	o	o	o	*	Wel ontstaat na een dag

werken in de sigarettenmachine-afdeling een significant verschil.

Het gebied rond 8000 Hz

	Nrm	Smo	Sma	Enr	Ls	Bk	
Nrm	*	+ +	+ + +	+ + +	+ +	+ + +	Ook hier zijn de nor-
Smo	— —	*	+ +	+	o	+	malen beter dan alle
Sma	— — —	— —	*	—	— — —	o	andere groepen. De
Enr	— — —	—	+	*	—	o	ochtend-audiogram-
Ls	— —	o	+ + +	+	*	+	men van de sigaretten-
Bk	— —	—	o	o	—	*	fabriek verschillen niet

van die van de leerschool en zijn slechts in geringe mate beter dan de afdeling enrobeuses. Wel is er belangrijk verschil met de serie avond-audiogrammen.

Conclusie:

De groep audiogrammen van de normale proefpersonen komt in hoofdzaak overeen met de groep ochtend-audiogrammen van de meisjes op de machinekamer van de sigarettenfabriek. Deze laatste is wat beter aan de baszijde, boven 1,4 kHz is de normale groep significant beter.

In het gebied van de lawaaidip vertonen de hier onderzochte fabrieksgroepen allen ongeveer dezelfde gehoorverliezen, zij het dan dat de invloed van een dag werken in lawaai in de audiogrammen van de sigarettenfabriek duidelijk tot uiting komt. Dit laatste geldt nog sterker voor de lagere frequentiegebieden. De audiogrammen van de afdeling enrobeuses vertonen aan de baszijde duidelijke verliezen. Ze zijn in de loop van de werkdag opgenomen en er is blijkbaar nog veel „fatigue" aanwezig geweest. De biscuitbakkerij, die in het onderzoek betrokken was, omdat het lawaai daar zeker niet schadelijk geacht kon worden, is voor geen van de vier waarden significant beter dan de andere groepen. Het is dus de vraag of men de drempelafwijkingen bij de hier beschreven afdelingen als gehoorschade door lawaai mag opvatten.

In tabel 15 werd dus van enkele afdelingen nagegaan of de gemiddelden der gehoorverliezen statistisch significant verschilden van een afdeling waar ten hoogste zeer gering acustisch trauma aanwezig was. Een quantitatieve bepaling van de lawaaischade in een afdeling is op deze wijze echter niet mogelijk. Toch is dit noodzakelijk voor de onderlinge vergelijking van de andere afdelingen, waar zeker grotere gehoorverliezen aanwezig zijn. Daarom werd een methode uitgewerkt om de mate van lawaai-beschadiging van elk afzonderlijk audiogram in een enkel waarderingsgetal te kunnen uitdrukken. Van de vier cijfers der gecomprimeerde code komen de eerste en de laatste, namelijk die voor de baszijde en die voor de uiterste discantzijde, niet in aanmerking. Ze worden door het acustische trauma niet of slechts zijdelings beïnvloed. Veel belangrijker is het getal voor de diepte van de lawaaidip. Het leek echter daarbij van voordeel ook het verlies bij 1,4 kHz mee van invloed te doen zijn,

daar het een aanwijzing is voor de breedte van het defect en wel voor de uitbreiding naar de lagere frequenties. Zodoende wordt tevens rekening gehouden met de aantasting van het voor het verstaan van spraak belangrijke gebied van 300-3000 Hz.

De verlieswaarden werden als volgt gecodeerd:

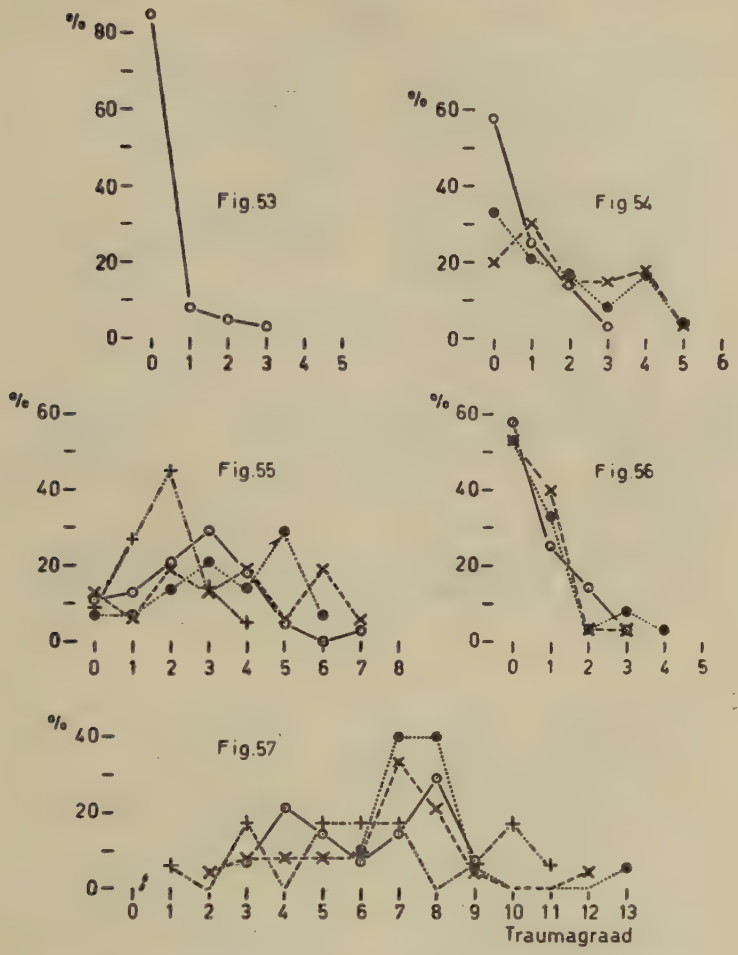
Code-No	Omschrijving	Gehoorverlies
0	Normaal	beter dan 10 dB
1	Geringe aanduiding van verlies	10–19 dB
2	Duidelijk, maar nog niet ernstig verlies	20–39 dB
3	Matig ernstig verlies	40–59 dB
4	Ernstig verlies	60–79 dB
5	Zeer ernstig verlies	80–99 dB
6	Onbruikbare gehoorrest	100 dB en meer

Het getal voor de mate van lawaaibeschadiging, de *traumagraad*, werd vastgesteld als de som van het code-cijfer voor het verlies bij 1,4 kHz en het code-cijfer voor de diepte van de dip. De percentsgewijze verdeling van de audiogrammen naar dit kenmerk, per afdeling, is in de grafische voorstellingen van de figuren 53-71 weergegeven.

Bespreking van de figuren 53-71

De afdelingen weergegeven in figuur 56 vertonen het minst de invloed van het lawaai. Ze verschillen onderling weinig, zijn echter iets slechter dan de normale proefgroep. Hiermee contrasteren sterk de afdelingen weergegeven in figuur 57 en 58. Uit de figuren 61-65 blijkt, dat de invloed van een dag werken in alle onderzochte afdelingen duidelijk is. Vooral in de afdelingen van figuur 64 en 65 komt dit tot uiting. Bij verdere uitwerking blijkt, dat de „rechtsverschuiving" vooral ontstaat door personen, die nog niet lang op de afdeling werken. Hierdoor wordt het onderscheid, dat voor de aanvang van het werk tussen de nieuwelingen en de ouderen bestaat, in de metingen direct na het werk minder duidelijk. Het lijkt er op of het direct na het werk opgenomen audiogram overeenkomst vertoont met het audiogram zoals het na telkens herhaalde expositie aan lawaai permanent zal worden. Indien dit inderdaad zo is, zou men bij een pas aangestelde arbeider uit het audiogram, opgenomen aan het eind van een werkdag, conclusies kunnen trekken aangaande zijn bij voortgezette expositie na verloop van jaren van dezelfde arbeid te verwachten permanente gehoordrempelveranderingen. Zolang de traumagraad door het blootstaan aan lawaai nog toeneemt moeten prophylactische maatregelen overwogen worden, omdat het proces nog niet tot stilstand is gekomen.

FIGUUR 53-60 - De procentuele verhouding van de verschillende graden van acustisch trauma per afdeling.



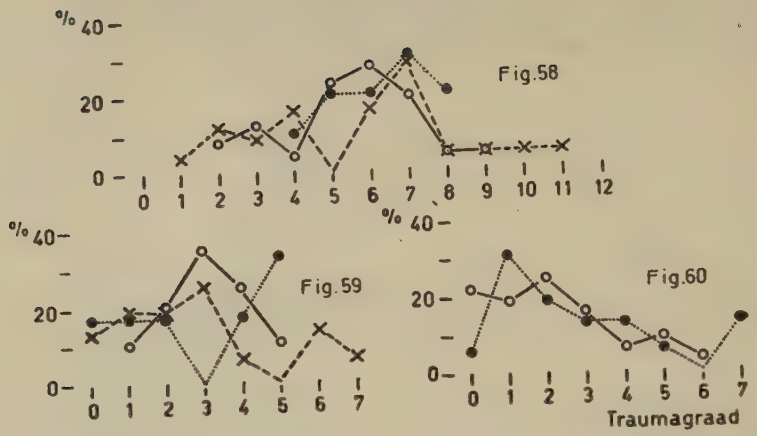
FIGUUR 53 - Proefgroep normalen

FIGUUR 54 - Chocoladefabriek.
o enrobeuse-afdeling;
• Lehmann-Savy-afdeling;
× Praletta-afdeling.

FIGUUR 55 - Constructiebedrijf.
o ketelmakerij;
• draaierij;
+ lichtmetaal-afdeling;
× plaatwerkerij.

FIGUUR 56
o enrobeuse-afdeling
• leerschool constructiefabriek.
× sigarettenmachine-afdeling

FIGUUR 57 - Scheepswerf.
o ketelmakers;
• kokers;
× klinkers;
+ aanhouders.

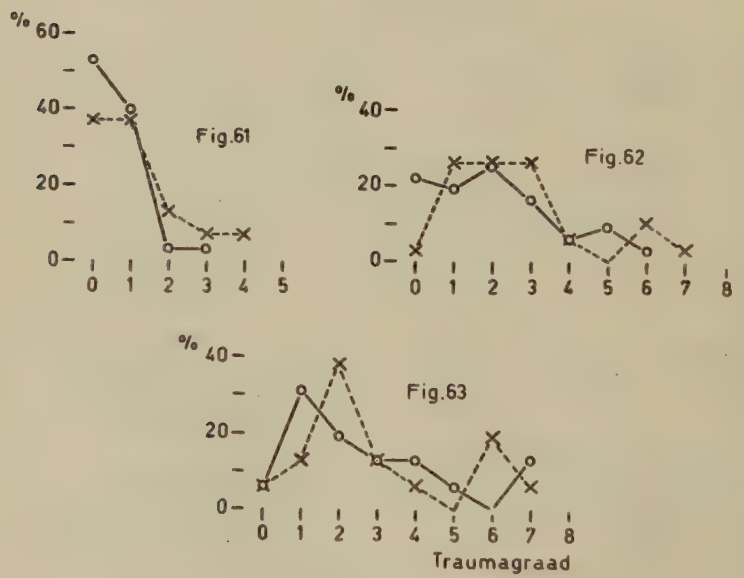


FIGUUR 58 - Scheepswerf.
o klinkerhulpen;
• boorders;
× ijzerwerkers.

FIGUUR 59 - Scheepswerf.
o plaatwerk;
• timmerlieden;
× lassers.

FIGUUR 60.
o ponserij;
• automatenafdeling.

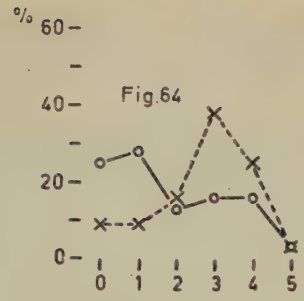
FIGUUR 61-71 - De procentuele verhouding van de verschillende graden van acustisch trauma per afdeling voor [o] en na [×] een dag werken aldaar.



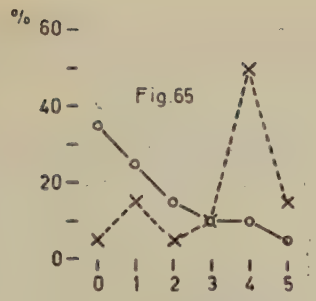
FIGUUR 61 - Sigarettenmachine-afdeling.

FIGUUR 62 - Ponserij.

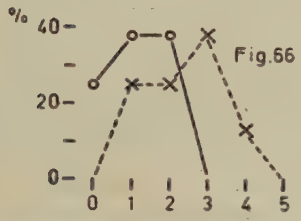
FIGUUR 63 - Automatenafdeling.



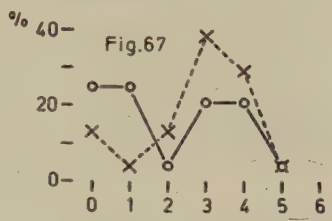
FIGUUR 64 - Praletta-afdeling.



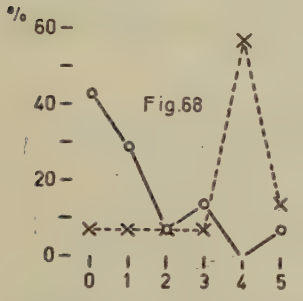
FIGUUR 65 - Lehmann-Savy-afdeling.



FIGUUR 66 - Praletta-afdeling, arbeiders met minder dan 3 maanden expositietijd.

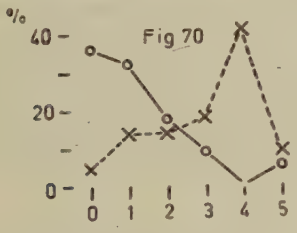


FIGUUR 67 - Praletta-afdeling, arbeiders met 3 maanden of meer expositietijd.

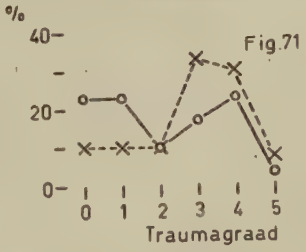


FIGUUR 68 Lehmann-Savy-afdeling, arbeiders met minder dan 3 maanden expositietijd.

FIGUUR 69 - Lehmann-Savy-afdeling, arbeiders met 3 maanden of meer expositietijd.



FIGUUR 70 - Praletta- en Lehmann-Savy-afdeling, arbeiders met minder dan 3 maanden expositietijd.



FIGUUR 71 - Praletta- en Lehmann-Savy-afdeling, arbeiders met 3 maanden of meer expositietijd.

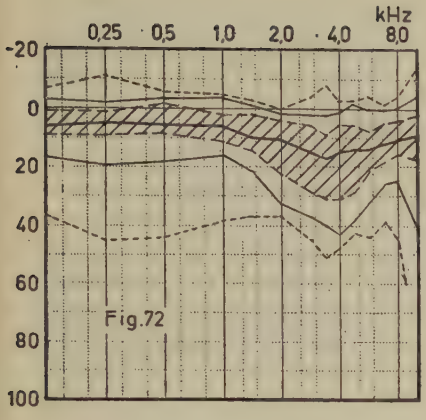
Enkele resultaten van dit onderzoek met tot één waarde vereenvoudigde audiogrammen worden in de volgende figuren voor het gehele audiogram weergegeven.

Het verschil tussen de audiogrammen voor en na het werk komt in „afdelingsaudiogrammen" niet duidelijk tot uiting, hetgeen blijkt uit de figuren 72 en 73. Daarom zijn in de figuren 75-84 soortgelijke curves getekend, waarin echter niet de afwijkingen van de nulcurve zijn verwerkt, maar de voor elke persoon per frequentie gevonden verschillen tussen zijn gehoordrempelwaarden van 's morgens en 's avonds. Ligt dus bijvoorbeeld in figuur 75 de mediaancurve bij 2,0 kHz 7 dB onder de nullijn, dan betekent dit, dat in deze groep audiogrammen het verschil tussen 's morgens en 's avonds in de helft der gevallen kleiner was dan 7 dB, in de andere helft groter dan 7 dB.

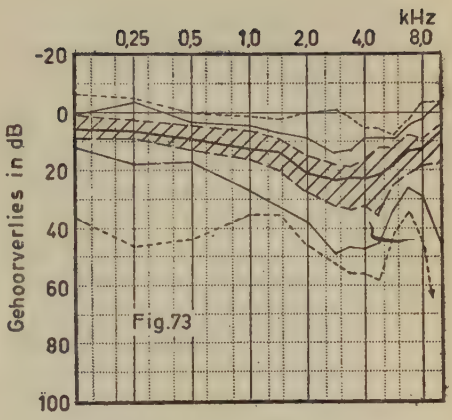
Vergelijkt men figuur 72 met figuur 24 of figuur 74 met figuur 25, de afdelingsaudiogrammen van de afdelingen Praletta en Lehmann met en zonder de personen, die daar korter dan 3 maanden werken, dan blijkt, dat de curves voor de „oudere" groepen ongunstiger zijn dan die voor het totaal, waar het gemiddelde door de vele „nieuwelingen" gunstig wordt beïnvloed. Het valt te verwachten, dat de drempelverschuiving door een dag werken in lawaai bij de „nieuwelingen" groter zal zijn dan bij de „ouderen". Daarom zijn in de figuren 75-80 deze verschillen afzonderlijk weergegeven. In de andere afdelingen waren niet voldoende „nieuwelingen" om deze scheiding te kunnen uitvoeren.

Inderdaad vertonen de audiogrammen van de nieuwelingen grotere verschillen tussen voor en na het werk dan van de ouderen. Voor elke afdeling valt op, dat alle frequenties ongeveer in gelijke mate het verschijnsel van lawaaivermoeidheid vertonen, behalve wanneer het gehoorverlies er 's morgens al groot is en daardoor in de loop van de dag niet meer toeneemt. Dit is vooral in het gebied rond 4000 Hz het geval. De groep met de grootste verschuiving aan de baszijde is die der aluminiumspuitgietafdeling. Dat dit door maskering tijdens het onderzoek veroorzaakt is, wordt minder waarschijnlijk door de afwezigheid van het verschijnsel bij de automatenafdeling, die in dezelfde onderzoekkamer en op dezelfde tijden werd onderzocht. Deze afdeling heeft echter een hoog gehalte aan lage tonen in het spectrum, hetgeen blijkbaar in de drempelverschuiving tot uiting komt. Er werd reeds gewezen op de afwijkingen der lage frequenties bij de in de loop van de dag opgenomen audiogrammen der enrobeuse-afdeling. Ook daar vertoont het lawaaispectrum een maximum in de lage octaven.

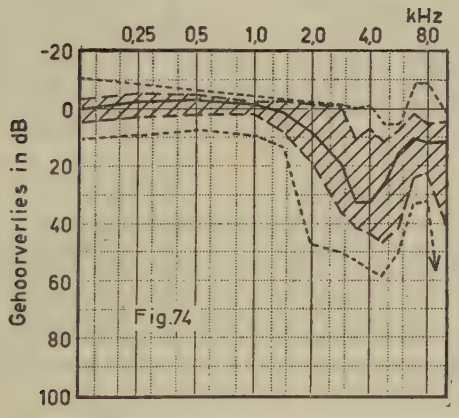
Krejci & Bornschein deden audiometrisch onderzoek bij lawaaiarbeiders alleen aan het eind van de werkdag en in een onderzoekruimte van de fabriek. Dat ze daarbij eveneens een lage tonen-verlies vonden, kan verklaard worden als een combinatie van de hier door ons



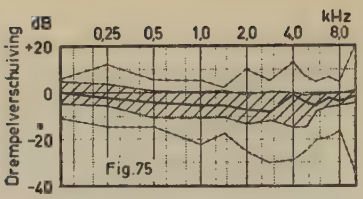
FIGUUR 72 - Praletta-afdeling, arbeiders met 3 maanden of meer expositietijd, vóór het werk [22 oren].



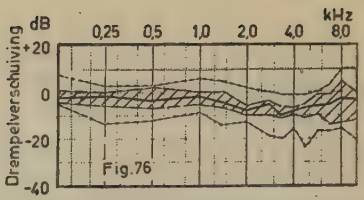
FIGUUR 73 - Praletta-afdeling, arbeiders met 3 maanden of meer expositietijd, na het werk.



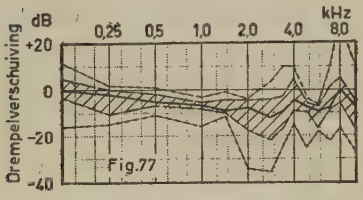
FIGUUR 74 - Lehmann-Savy-afdeling, arbeiders met 3 maanden of meer expositietijd, vóór het werk [8 oren].



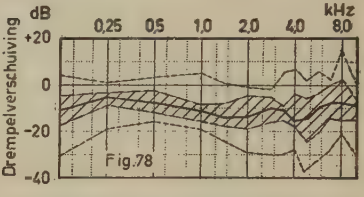
FIGUUR 75 - Praletta-afdeling, arbeiders met 3 maanden of meer expositietijd (22 oren).



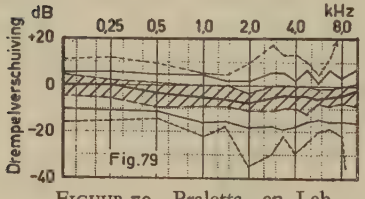
FIGUUR 76 - Praletta-afdeling, arbeiders met minder dan 3 maanden expositietijd (10 oren).



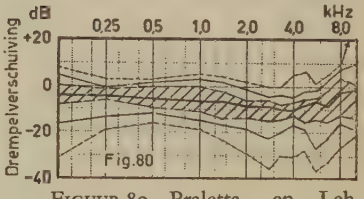
FIGUUR 77 - Lehmann-Savy-afdeling, arbeiders met 3 maanden of meer expositietijd (8 oren).



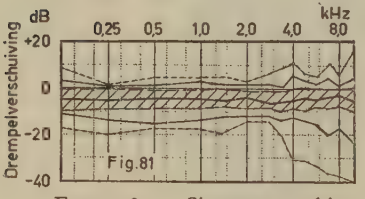
FIGUUR 78 - Lehmann-Savy-afdeling, arbeiders met minder dan 3 maanden expositietijd (12 oren).



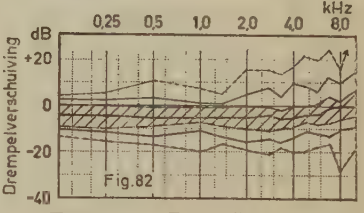
FIGUUR 79 - Praletta- en Lehmann-Savy-afdeling, arbeiders met 3 maanden of meer expositietijd (30 oren).



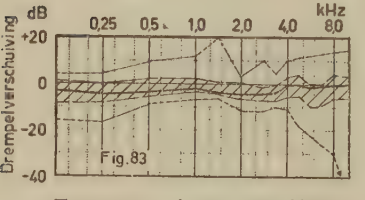
FIGUUR 80 - Praletta- en Lehmann-Savy-afdeling, arbeiders met minder dan 3 maanden expositietijd (22 oren).



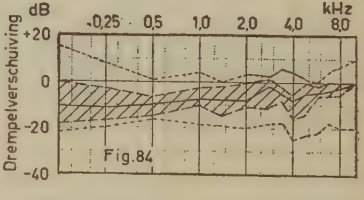
FIGUUR 81 - Sigarettenmachine-afdeling.



FIGUUR 82 - Ponserij.



FIGUUR 83 - Automatenafdeling.



FIGUUR 84 - Aluminium-spuitgietafdeling.

FIGUUR 75-84 - De drempelverschuiving na een dag arbeid.

aangegeven gehoorvermoeidheid en de in hoofdstuk 4 beschreven invloed van een niet voldoende stille onderzoekruimte. Hun mening, hier met een beginsymptoom van lawaaidoofheid te maken te hebben, lijkt ons onjuist.

Conclusies omtrent de traumatiserende werking van lawaai uit het verschil tussen ochtend- en avondaudiogram zijn alleen mogelijk, indien de drempelcurves 's morgens weinig of geen gehoorverlies vertonen. De audiogrammen moeten afkomstig zijn van personen, die nog niet of slechts zeer korte tijd, bijvoorbeeld korter dan een maand, in lawaai hebben gewerkt. Het onderzoek moet liefst enkele dagen aaneen herhaald worden om de cumulatie van „fatigue", de belangrijkste oorzaak voor blijvende schade, op te sporen.

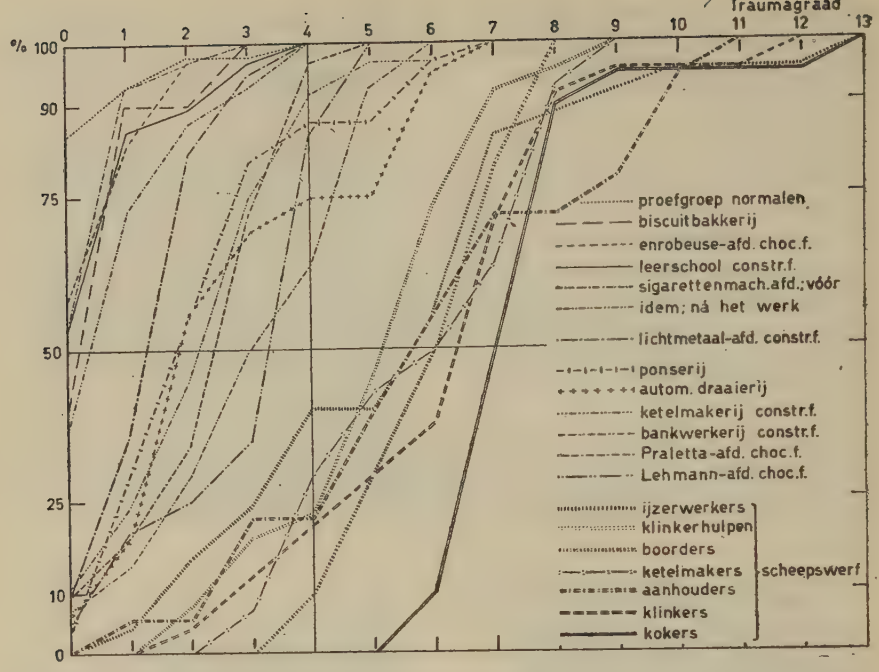
Tekent men de procentuele verdeling der traumagraden per afdeling (figuren 53-60) in de vorm van cumulatieve curves, zoals in figuur 85, dan blijkt des te duidelijker dat er drie groepen onderscheiden kunnen worden:

1. Geen belangrijke gehoorschade.
2. Beginnende gehoorschade.
3. Belangrijke gehoorschade.

Daar in hoofdstuk 2 is gebleken, dat onder zeker voorbehoud een correctie voor presbyacusis zou kunnen worden aangebracht, is voor de afdelingen met veel ouderen berekend hoe de traumaverdeling is na toepassing van deze leeftijdscorrectie. Het resultaat is weergegeven in figuur 86.

Het valt te verwachten, dat het acustische trauma zal toenemen met het stijgen van het aantal jaren, dat in lawaai werd gewerkt. Een bezwaar van de curves uit de figuren 85 en 86 is dan ook dat de duur van de expositie, die in bepaalde afdelingen gemiddeld veel langer is geweest dan in andere, hierin niet tot uiting kan komen. Dit bezwaar klemt te meer, omdat vooral in de afdelingen met hoog niveau het gemiddelde aantal dienstjaren hoog is, in die met laag niveau laag.

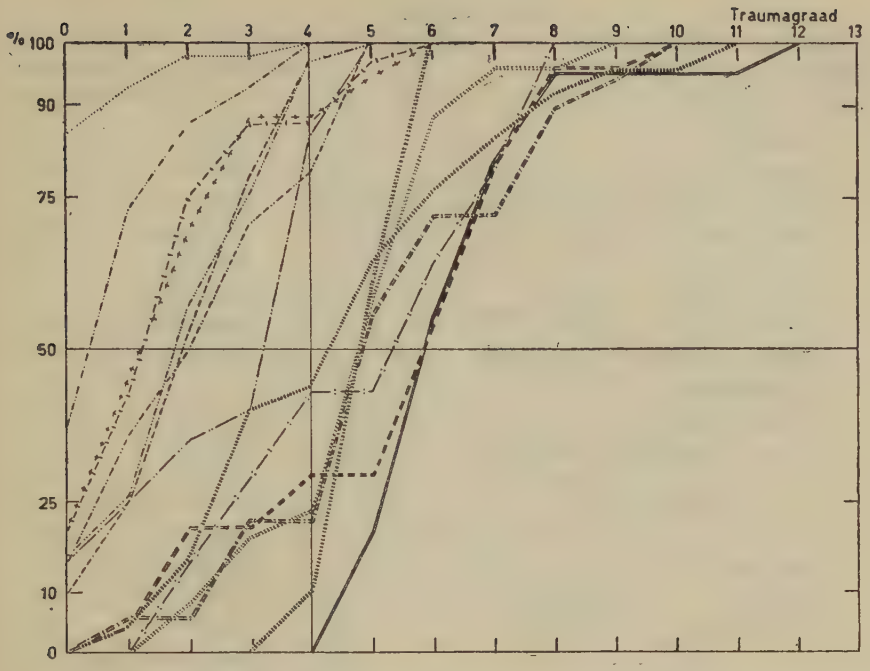
Daarom hebben wij nog berekend voor drie groepen van afdelingen, die blijkens tot nog toe verkregen gegevens wat lawaai-expositie betreft met elkander vergeleken mogen worden, hoe de traumagraad verandert bij vermeerderen van het aantal dienstjaren (figuur 87). Het blijkt, dat de grootste drempelveranderingen optreden in het eerste jaar en daarna slechts in geringe mate toenemen. Het bezwaar uit de vorige alinea is dus niet zo groot dat de curves van figuur 85 of van figuur 86 niet onderling vergeleken zouden kunnen worden.



FIGUUR 85 - Cumulatieve curves van de procentuele verdeling der traumagraden per afdeling. Op de ordinaat leest men het percentage der oren, dat de op de abscis vermelde of een geringere graad van acustisch trauma heeft.

Het verloop van de curve der werfarbeiders wordt voor een deel bepaald door andere oorzaken dan de duur van de expositie alleen. Gewoonlijk doen deze arbeiders namelijk na hun indiensttreding ongeschoolde hulp-arbeid. Naarmate hun ervaring en geoefendheid toeneemt gaan ze meer en meer vakarbeid, zoals koken en klinken, verrichten. Ze staan daarbij aan hogere geluidintensiteit bloot dan eerst. Bij het stijgen van het aantal dienstjaren neemt dus niet alleen de duur van de expositie maar ook de intensiteit toe. De curve ligt echter ook in het begin lager dan die van de andere groepen, zodat het duidelijk is, dat de werfarbeiders van de aanvang af gemiddeld het grootste acustische trauma hebben.

In tabel 16 zijn de afdelingen in volgorde naar de uitkomsten der lawaaimetingen gesteld en daarnaast in die naar de traumaverdelingen. Uit deze tabel kan worden gelezen, dat er tussen beide volgorden goede correlatie bestaat. Een uitzondering maakt de ketelmakerij in de constructiefabriek. Dit is verklaarbaar, daar het lawaainiveau in deze afdeling sterk afhankelijk is van de werkstukken, die uitgevoerd worden. Behalve dat sterkte en duur van het lawaai hierdoor zeer uiteenlopen,



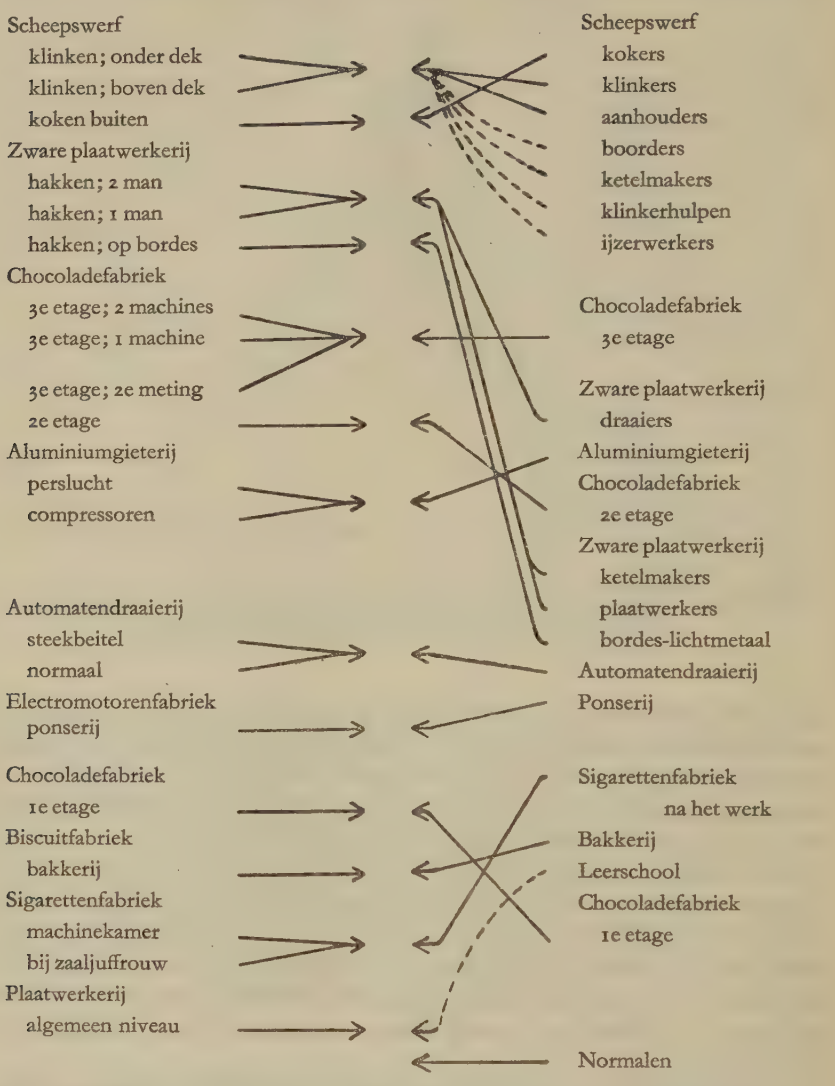
FIGUUR 86 - Cumulatieve curves van de procentuele verdeling der traumagraden per afdeling na correctie van de audiogrammen voor presbyacusis.

kan ook de plaats van de lawaaibron zeer wisselen, wat vooral voor de niet-ketelmakers, als bijvoorbeeld de lichtmetaalbewerkers, groot verschil in lawaainiveau geeft. Het is de enige afdeling, waar een deel van de arbeiders, namelijk de ketelmakers, reeds lang gehoorbeschermers gebruikte, zij het op weinig doeltreffende wijze.

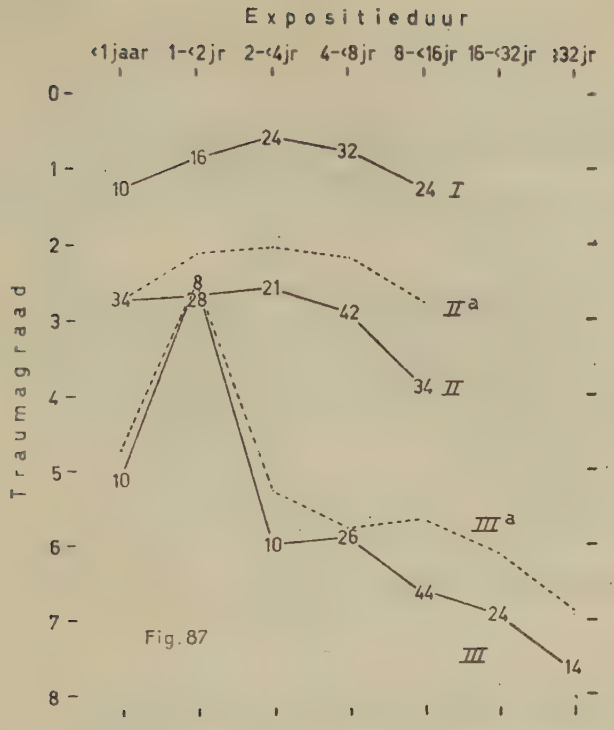
Door aldus de afdelingen te rangschikken, enerzijds volgens een bepaald criterium uit het lawaaispectrum, anderzijds volgens een criterium uit de audiogrammen, zal men, als men straks kan beschikken over meer gegevens ook uit andere industrieën, kunnen nagaan tussen welke van deze rangschikkingen de beste correlatie optreedt. Zodoende kan men de samenhang tussen lawaai en gehoorschade nader op het spoor komen.

Als criterium uit de audiogrammen hebben wij ook gebruikt de lijnen uit de „afdelingsaudiogrammen" en de afdelingen gerangschikt naar het verloop van de mediaan, het eerste en derde kwartiel en het eerste en negende deciel. Door de Afdeling Bewerking Waarnemingsuitkomsten T.N.O. is de correlatie tussen deze rangschikkingen nagegaan en tevens de correlatie tussen deze volgorden en die der schadelijkheidscriteria. Hierbij bleek, dat men bij deze methode de audiogrammen bij voorkeur

TABEL 16



moest sorteren volgens het verloop van de strook der middelste 50%, het gearceerde gedeelte der afdelingsaudiogrammen. Voor het bepalen van de schadelijkheid voldeed de totale luidheid in soons het beste, al was het verschil met de andere criteria niet groot.



FIGUUR 87 - Gemiddelde traumagraad voor 3 groepen industrie-arbeiders, die wat lawaai betreft werken onder vergelijkbare omstandigheden.

I Afdelingen enrobeuses, sigarettenmachines, leerschool [geen correctie voor presbyacusis nodig].

II Afdelingen Praletta en Lehmann-Savy, zware plaatwerkerij, ponserij, automaten.

IIa Idem, gecorrigeerd voor presbyacusis.

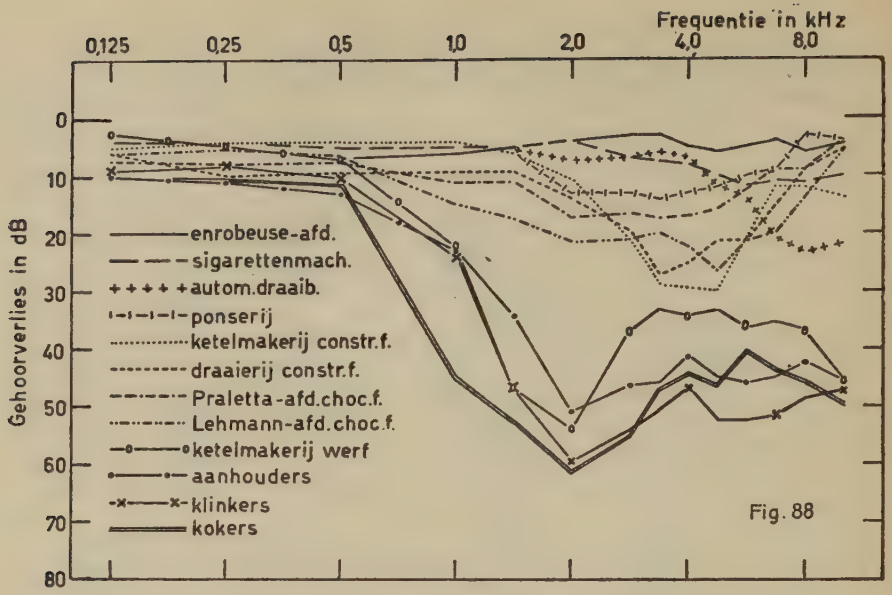
III Scheepswerf: kokers, klinkers, ijzerwerkers, aanhouders, boorders, scheepsketelmakers, klinkerhulpen.

IIIa Idem, gecorrigeerd voor presbyacusis.

In de curves is aangegeven het aantal waarnemingen waaruit elk gemiddelde is berekend.

Ter illustratie diene figuur 88, waarin van de belangrijkste afdelingen de mediaancurve van het afdelingsaudiogram na het werk en gecorrigeerd voor presbyacusis is weergegeven.

Afgaande op de audiogrammen van de onderscheidene groepen en in aanmerking nemende de leeftijd en de duur van de expositie aan lawaai,



FIGUUR 88 - Mediaancurves uit afdelingsaudiogrammen na of tijdens het werk en gecorrigeerd voor presbyacusis.

komen wij tot de volgende beoordeling van de mate van het gehoorverlies, dat in de verschillende afdelingen werd gevonden:

Groep 1. Weinig of geen invloed van blijvende, ernstige aard.
1. Chocoladefabriek; afdeling enrobeuses.
2. Sigarettenmachine-kamer.
3. Constructiebedrijf; leerschool.

Groep 2. Nog geen ernstige schade gevonden, maar misschien te verwachten bij langere expositie.
4. Constructiebedrijf; arbeiders op het bordes in de zware plaatwerkerij.

Groep 3. Hier bestaat wel gehoorverlies, maar nog niet van ernstige aard, terwijl bovendien de invloed van presbyacusis zich doet gelden.
5. Meetinstrumentenfabriek; automaten-afdeling.
6. Electromotorenfabriek; ponserij.

Groep 4. In deze afdelingen is bij verscheidene personen een uitgesproken acustisch trauma aanwezig, maar niet in extreme mate. Het is echter te verwachten, dat hetzij bij voortgezette expositie, hetzij bij gevoeliger personen nog groter schade op zal treden.
7. Chocoladefabriek; afdeling Praletta.
8. Idem; afdeling Lehman-Savy.
9. Constructiebedrijf; ketelmakers.

Groep 5. De beroepshardhorendheid is in deze afdelingen van gelijke aard als in de vorige groep, soms zelfs erger. Deze arbeiders verrichten echter niet zelf lawaaiig werk, maar werken vlak bij lawaaibronnen door toevallige omstandigheden.

10. Scheepswerf; timmerlieden, lassers, plaatwerkers.
11. Constructiebedrijf; arbeiders in de zware plaatwerkerij, frezers, draaiers, enz. onder het bordes in de zware plaatwerkerij.

Groep 6. Uitgesproken beroepshardhorendheid bij het merendeel der arbeiders, zij het in individueel sterk uiteenlopende mate.

12. Constructiebedrijf; plaatdrijvers (valhamers).
13. Scheepswerf; klinkerhulpen, nagelheters, instekers, enz.
14. Idem; boorders en ijzerwerkers.
15. Idem; ketelmakers.
16. Idem; klinkers en aanhouders.
17. Idem; kokers en hakkers.

Hoofdstuk VIII

DE PREVENTIE VAN GEHOORBESCHADIGING TENGEVOLGE VAN ARBEIDEN IN LAWAAI

De maatregelen tot voorkoming van beroepshardhorendheid kan men samenvatten in drie categorieën, namelijk:

1. Lawaaibestrijding.
2. Onderzoek, contrôle en werktijdregeling der arbeiders.
3. Verstrekking van gehoorbeschermers.

Men zal in de nu te bespreken volgorde moeten overwegen welke verbeteringen mogelijk zijn. Een bevredigende oplossing voor een bepaald probleem maakt de daarna genoemde maatregelen minder nodig.

Lawaaibestrijding

Zoals reeds bij de eigenschappen van het geluid naar voren is gebracht hangt de geluidintensiteit, waaraan de arbeider bloot staat, van vele factoren af. Deze zijn onder meer de hoeveelheid energie die door de machine in geluidenergie wordt omgezet, de mate waarin trillingen overgebracht worden op resonerende voorwerpen waardoor deze eveneens geluid gaan uitstralen, de afstand waarop de arbeider zich van de geluidbron bevindt, de acoustische eigenschappen van de ruimte, enz.

Het aantal publicaties over toepassing van lawaaibestrijding in de industrie neemt snel toe. Het is onmogelijk een overzicht te geven van alle practische oplossingen. Het blijkt echter steeds weer, dat hier zelfs door uitermate deskundigen vele moeilijkheden overwonnen moeten worden. Dit maakt dat maatregelen, die door niet volledig deskundigen zijn ontworpen, weinig kans op bevredigend succes bieden. Vrijwel steeds is een combinatie van allerlei acoustische voorzieningen nodig. Boynton heeft bijvoorbeeld beschreven, hoe bij een lawaaiprobleem in een draadisolatie-weverij proeven met geluidabsorberende panelen, isolerende insluiting, herbouw van een machine precies volgens de originele voorschriften, trillingsisolatie van bepaalde onderdelen, pijnlijk nauwkeurig instellen van alle bewegende delen, verbeteren van tandwielen, stroboscopische contrôle van de draaibewegingen, enz. nodig waren om een uiteindelijke verlaging van het algemene niveau van 87 op 76 dB te verkrijgen. Dit komt overeen met een luidheidafname van 60%.

De bestrijdingsmaatregelen kan men als volgt groeperen:

1. De lawaaiige werkmethode verlaten en vervangen door een andere, die geen schadelijk lawaai veroorzaakt.
2. De bestaande werkmethode of machine veranderen, waardoor de schadelijkheid van het lawaai afneemt.
3. De verspreiding van het lawaai tegengaan:
   a. belemmeren van de mechanische overdracht van trillingen op andere voorwerpen, zoals het gebouw of onderdelen van de machine; het bemoeilijken van resonantie van deze voorwerpen.
   b. door geluidisolatie de uitstraling van het geluid in de lucht belemmeren; door geluidabsorptie weerkaatsing tegengaan en het algemene lawaainiveau verlagen.

1. *Vervangen van de werkmethode*

Soms is het mogelijk een lawaaiige werkwijze te vervangen door een andere, waarbij geen of minder lawaai optreedt. Hoewel het lijkt dat deze maatregel slechts zelden kan worden toegepast, moet nadrukkelijk vastgesteld worden dat het de enige werkelijk goede lawaaibestrijding is en dat men deze mogelijkheid voortdurend moet blijven overwegen. Het steeds aangehaalde voorbeeld is: lassen in plaats van klinken. Zeer terecht wijst Johnston er op, dat het afwerken van de lasnaad door pneumatisch hakken minstens zoveel lawaai veroorzaakt als klinken. Dit hakken kan vervangen worden door afslijpen, maar ook daarbij treedt soms schadelijk lawaai op. Tyzzer, Gutekunst en anderen geven nog meer voorbeelden, zoals persen en rollen in plaats van smeden, knippen in plaats van hakken, mechanisch scheiden van voorwerpen in plaats van met perslucht, het materiaal van de producten veranderen, bijvoorbeeld kunstharsen in plaats van metaalplaat. Bewegende delen van machines moeten zo gelijkmatig mogelijk en dus zonder schokken werken. Geringe snelheden verdienen de voorkeur boven grote, draaiende bewegingen boven heen en weer gaande (Zeller).

2. *Veranderingen aanbrengen in werkmethode of machinerie*

Een technische verbetering kan soms tegelijk een verlaging van het geluidniveau betekenen. Lawaai is immers dikwijls het bijproduct van overbodige mechaniek of ongewenste trillingen. Deze werken bovendien slijtage in de hand. Goed onderhoud, zoals tijdig smeren en vervangen van versleten onderdelen, betekent vaak een grote winst bij de lawaaibestrijding. Een bezwaar is het echter, wanneer door de verbetering ook grotere snelheden mogelijk zijn en toegepast worden. Hierdoor wordt het lawaai dikwijls weer schadelijker.

Nauwkeurige analyse laat in het spectrum vaak enkele frequenties herkennen, die in hoofdzaak de hoogte van het lawaainiveau bepalen. Men

kan nagaan, of ze veranderen bij verschil in draaisnelheid van de motor of bij belast of onbelast draaien. Daarna kan men ze vergelijken met de frequentie van periodiek terugkerende bewegingen van de machine, bijvoorbeeld de rotatiesnelheid van verschillende onderdelen. Zo kan men achterhalen, welk onderdeel met de meeste kans op succes aangepakt moet worden. Vaak staan niet de fundamentele rotatie-frequenties het meest op de voorgrond, maar een of meer boventonen.

Een voorbeeld van een technische verandering der werkmethode wordt vermeld door Crede, die aangeeft hoe kracht en aard van de stoot bij ponsbewerkingen beïnvloed kunnen worden. Het stempel kan aan de onderzijde schuin gemaakt worden, zodat meer een knipbeweging resulteert en het geluid minder fel is. Zijn in één werkstuk verscheidene openingen nodig, dan kan men of het stempel trapsgewijs maken zodat de gaten niet alle tegelijk, maar een fractie van een seconde na elkaar ontstaan of men kan ze in twee groepen afzonderlijk ponsen. Bij deze laatste methode kan men de benodigde energie gelijk verdelen, waardoor deze kleiner kan blijven dan bij het ponsen in één keer. Eigen ervaring leert echter, dat men dit niet zodanig moet overdrijven dat men de gaten één voor één ponst. De efficiëntie immers eist dat dit snel gebeurt, waardoor toch het lawaai fel en hinderlijk wordt. Daarbij kan een periodiek optredende enkele klap van laag toonkarakter, gevolgd door een vrij grote pauze, gunstiger zijn voor het algemene lawaainiveau dan een aanhoudend roffelend geluid. Over de schadelijkheid van rhythmische lawaaistoten is echter nog zeer weinig bekend. Van Dishoeck & Rol, die de tijdelijke gehoordrempelverhoging tengevolge van kortdurende geluidimpulsen en continu lawaai onderling vergeleken, hebben gevonden, dat bij gelijke duur van prikkel en pauze de grootte van de drempelverschuiving afhankelijk is van het aantal prikkels per tijdeenheid. Minimaal effect trad op bij een duur van $\frac{1}{2}$ seconde van geluidprikkel zowel als van pauze, dus een rhythme van 1 impuls/sec. Een rhythme van 5 imp./sec had nagenoeg hetzelfde effect als continu geluid, terwijl bij een lager rhythme dan 1 imp./sec toch meer drempelverschuiving optrad door toename van de expositie per impuls. Verder is hen gebleken, dat combinatie met een gelijktijdig optredend lawaai dat zelf geen gehoordrempelverhoging veroorzaakt, het effect van de geluidimpulsen niet vergroot.

Het niveau bij de langzaam werkende trekpersen is relatief laag; bij valhamers, waarbij het metaal in een matrijs gesmeed wordt, is het echter hoog, vooral op het eind van de bewerking, doordat het materiaal dan niet meer meegeeft. Een dergelijke toename van het niveau tijdens de bewerking ziet men ook bij warm smeden. Het warme, weke metaal wordt allengs kouder en harder. Plaatdrijven met valhamers geeft een hoog lawaainiveau. Het plaatdrijven door rollen daarentegen is stil werk. Bij persen ontstaat geen lawaai door stoten, maar wel door ontsnappen van de aandrijvende stoom of perslucht. Bij tal van bewerkingen wordt

van samengeperste lucht gebruik gemaakt. Het sissende geluid van ontsnappende lucht is daardoor een belangrijke lawaaibron, die des te hinderlijker en schadelijker is door een groot gehalte aan hoge frequenties. Het gebruik van deze perslucht kan vaak worden vermeden en zeker moet het verspillen ervan in de periode, dat het niet nodig is, worden bestreden. Dit is alleen al uit economisch oogpunt van belang.

Bij het transport van bewerkte producten wordt vaak onnodig veel lawaai gemaakt. Gedacht wordt hier aan uit de ponsmachine vallend materiaal, dat via een metalen geleider in een mand terecht komt; aan stukken plaat, die bij het knippen van de schaar vallen en aan lawaaiige transportbanen.

Wordt het lawaai door een aantal gelijke machines voortgebracht, dan kan soms daling van het algemene niveau bereikt worden door de machines verder uit elkaar te plaatsen. Sabine berekende voor een bepaald geval een daling van 6 dB door het vergroten van de onderlinge afstand van anderhalf tot drie meter. Naarmate de geluidabsorptie aan plafond en wanden groter is zal het effect van deze maatregel toenemen.

3. *Belemmeren van de verspreiding van lawaai*

Bij het essentiële onderdeel van een of andere bewerking, zoals het snijden van een metaalplaat tussen onder- en bovenstempel, wordt soms weinig energie direct in geluidenergie omgezet. Er ontstaan echter trillingen, die zich voortplanten in het werkstuk, in de vaste delen van de machine en zelfs daar buiten via leidingen en fundering. Al deze trillende voorwerpen kunnen geluidenergie afgeven. Voor de lawaaibestrijding dient men te zoeken naar dat onderdeel, dat de voornaamste geluidstraler is. Het trillen hiervan kan men trachten te verminderen door de volgende maatregelen:

a. Het verminderen van de toegevoerde trillingsenergie.

Het overbrengen van trillingen via vaste lichamen kan worden bemoeilijkt door tussenschakeling van trillingsisolatoren. Door de gehele machine op dergelijke isolatoren op te stellen belemmert men het overbrengen van trillingen op het gebouw.

Men moet oppassen voor „kortsluiting" door vaste verbindingen, zoals leidingen en dergelijke. De gewenste stijfheid van het materiaal der trillingsisolatoren hangt af van het voornaamste trillingsgetal van de machine en de aard van de vloer. Hoe hoger de frequentie die gedempt moet worden en hoe stijver de vloer is, hoe stijver ook de isolerende stof kan zijn. Bevat het lawaai voornamelijk lage frequenties of is de vloer erg slap (planken), dan kan het gebeuren, dat de trillingsisolatoren zo zacht zouden moeten zijn, dat de gehele opstelling te weinig stevig wordt en deze maatregel dus niet kan worden toegepast. Men zou dan kunnen overwegen de machine op een zware plaat te monteren en deze op trillingsisolatoren te laten rusten.

b. Het trillen van de geluidstraler belemmeren.

Wanneer de eigen frequentie van een onderdeel, dat in trilling wordt gebracht, ongeveer gelijk is aan een belangrijke trilfrequentie van de machine, dan kan dit voorwerp in resonantie geraken en, zelfs als de oorspronkelijke kracht maar gering is en bijvoorbeeld sterk verzwakt wordt door een trillingsisolator, toch reageren met grote amplitudo. Men kan dit resoneren trachten op te heffen door de frequentie van de energiebron te veranderen of door de eigen frequentie van de resonator te wijzigen. Zo kan men bijvoorbeeld slappe platen verstijven door het aanbrengen van dwarsribbels. Platen, waaraan geklonken, gehakt of geslepen wordt, kan men tijdelijk inklemmen of steunen.

Kan op deze wijze het meetrillen niet worden opgeheven, dan moet men trachten het gedeelte van de energie dat omgezet wordt in geluid zo klein mogelijk te houden. Men kan daartoe op de resonator stoffen aanbrengen als mastiek, asphaltvilt en dergelijke. De buitenlaag van dit soort bekledingen moet vast zijn, bijvoorbeeld dunne plaat of board, daar alleen dan maximale buigingen binnen het dempende materiaal optreden, waardoor dus van de totale energie een groter deel opgebruikt wordt voor deze vervorming en minder overblijft om in geluid over te gaan. Een voorbeeld van een combinatie van deze maatregel en het tijdelijke veranderen van de eigen frequentie van de resonator heeft Botsford beschreven: het meetrillen van een cirkelzaag bij het slijpen der tanden wordt bestreden door er een met fiberglas beklede houten schijf tegen te klemmen.

Kan men het ontstaan van te veel geluid niet verhinderen, dan moet men trachten te beletten, dat het doordringt tot de personen in de buurt van de machine. Men kan dit bereiken door een afscherming aan te brengen rond de machine-onderdelen, die het meeste geluid voortbrengen. Is dit technisch niet mogelijk, dan overwege men afscherming van de machine in zijn geheel of het plaatsen daarvan in een afzonderlijke ruimte. Voor beide vormen van geluidisolatie gelden dezelfde regels:

a. Om te voorkomen dat het geluidniveau binnen de isolerende wanden door herhaalde weerkaatsingen onnodig hoog wordt, is het aan te bevelen de binnenzijde van de afschermende wanden met geluidabsorberende stoffen te bekleden.

b. De afscherming zelf mag niet mechanisch in trilling worden gebracht en moet indien nodig op trillingsisolatoren worden gemonteerd.

c. Zwakke plekken in de afscherming, zoals spleten en gaten, maken de gewenste werking illusoir. Indien gaten terwille van het productieproces nodig zijn, dienen ze van een geluidsluis of een acoustisch behandelde tunnel voorzien te zijn. Is dit evenmin mogelijk, dan behoeft ook het materiaal van de omsluiting niet zwaarder te zijn dan nodig is om het geluid zodanig te verzwakken, dat het totale lawaainiveau in

feite alleen door het uit de opening komende lawaai wordt veroorzaakt. Toch kan een dergelijke voorziening zijn nut hebben doordat voor de hoge tonen schaduwwerking optreedt. Eenvoudige schotten kunnen daardoor helpen om het geluid van de machine, die men bedient, beter te onderscheiden van de rest van het lawaai in de ruimte; evenzo is een telefoonnis gunstig voor het verstaan. Belangrijke invloed op het al of niet ontstaan van gehoorbeschadiging zal men er echter niet van mogen verwachten.

In hoofdstuk 3 is besproken, dat in een ruimte, waar de wanden sterk geluidweerkaatsend zijn en waar dus het aantal geluidabsorberende eenheden klein is, het geluidniveau overal nagenoeg gelijk is. Ook al verricht hier een enkele man lawaaiig werk, dan is er toch voor alle andere in deze ruimte aanwezige arbeiders gevaar voor acustisch trauma. Alleen wanneer het plafond lager is dan ongeveer een tiende van de breedte der ruimte en vooral indien het sterk geluiddempend is, neemt niet slechts het directe, maar ook het gereflecteerde geluid af bij toenemende afstand tot de geluidbron.

Gaat men het aantal absorberende eenheden in een ruimte vergroten, dan vermindert aanvankelijk de intensiteit van het gereflecteerde geluid slechts weinig. Pas boven een gemiddelde absorptie-coëfficient van 50-60% gaat de verhoging van het lawaainiveau door het gereflecteerde geluid snel afnemen. Wil men dus lawaaivermindering bereiken door het toepassen van absorberende stoffen, dan zal men alleen succes kunnen verwachten, wanneer men grote oppervlakken met zeer goed acoustisch materiaal bekleedt. Zelfs kan men dergelijke stoffen vrij in de ruimte ophangen. Slechts in lage afdelingen zal men zich tot behandelen van het plafond kunnen beperken. Verder zal het effect het grootst zijn, wanneer tevoren de geluidabsorptie gering was en er alleen plaatselijk in de ruimte een geluidbron aanwezig is. Bevinden zich meer lawaaibronnen in een zelfde ruimte, dan is het effect van geluiddempende wandbekleding nog nuttig zo lang de machines ruim uiteen geplaatst zijn. Men bereikt daardoor bovendien, dat de arbeiders het geluid van hun eigen machine beter kunnen onderscheiden van de rest.

Bij het lawaai van pneumatische werktuigen en dergelijke, dus reeksen van snel opeenvolgende zeer korte geluidstoten, geeft verhoging van geluidabsorptie en dientengevolge verkorting van nagalmtijd een sterke verlaging van het geluidniveau tussen de afzonderlijke pieken in. Behalve dat daardoor de pieken zelf iets lager worden, wordt het gemiddelde niveau lager en het geluid prettiger, terwijl het onderling verstaan zeer sterk verbetert. Men hoort als het ware tussen de pieken door.

Toepassing van geluidabsorberende materialen zal in de gunstigste gevallen een geluidniveaudaling kunnen geven van 6 à 10 dB. Daar het op het niveau dicht bij de lawaaibron weinig invloed heeft, is het bij de

bestrijding van de lawaaidoofheid veel minder belangrijk dan geluidisolatie. Bij lawaaiproblemen waar meer de hinderlijkheid dan de sterkte van het geluid op de voorgrond staat is het echter vaak een oplossing.

Als in het ter zake belangrijke deel van een fabrieksruimte het lawaainiveau 6 dB daalt, telkens wanneer de afstand tot de lawaaibron wordt verdubbeld, is de bijdrage van de geluidweerkaatsing tot verhoging van het algemene lawaainiveau verwaarloosbaar klein en kan van verbetering van de geluidabsorptie dus geen effect verwacht worden.

Organisatorische maatregelen ter beperking van gehoorschade

1. *Werktijdregeling*

Het doel hiervan is de perioden van blootstelling aan het lawaai te bekorten, respectievelijk de tussenliggende perioden te verlengen of te vermeerderen, eventueel door perioden van minder lawaaiige arbeid in te lassen. Men stelt dit voor op grond van de overweging, dat bij voortgezette expositie de ontstane doofheid steeds meer toeneemt en zich bij beëindiging van de belasting weer geleidelijk herstelt, waarbij de snelheid en de mate van herstel mede afhankelijk zijn van de grootte van de tijdelijke gehoorvermindering. Heeft het gehoor zich geheel hersteld, voordat het opnieuw belast wordt, dan behoeft men niet bevreesd te zijn voor blijvende gehoorbeschadiging, indien weer dezelfde expositie plaats vindt (Campbell & Hargreaves, Dickson & Ewing, Davis c.s.). Blijvende schade zou optreden, wanneer het gehoor telkens weer aan lawaai blootstaat, terwijl er nog een rest van de tijdelijke doofheid van de vorige expositie is overgebleven.

Maatregelen, als hier bedoeld, zullen bij normale fabrieksarbeid moeilijk te verwerkelijken zijn. Een kenmerkend voorbeeld heeft Cramer beschreven:

In een ketelmakerij wordt veel arbeid verricht, die geen lawaai veroorzaakt, maar toch staan alle arbeiders bloot aan een hoog geluidniveau, zoals ook bij het onderzoek te Dordrecht is gebleken. De tijd, die aan lawaaiige arbeid wordt besteed, is slechts een klein deel van de som van het aantal werkuren per man. De schrijver deelde mede, dat het door overleg mogelijk was perioden in te voeren van 2 tot $3\frac{1}{2}$ uur, waarin door niemand lawaaiig werk werd gedaan, terwijl de nodige lawaaiige arbeid in de overige tijd werd afgedaan door er zoveel mogelijk arbeiders tegelijk aan te zetten. Hierdoor wordt het geluidniveau slechts weinig hoger dan eerst, daar bij gelijkwaardige lawaaibronnen een verdubbeling van het aantal slechts 3 dB verhoging betekent. In de lawaaiperioden moesten gehoorbeschermers gedragen worden, die, omdat dit slechts korte tijd nodig was, veel gemakkelijker door de arbeiders aanvaard zullen zijn.

Hierdoor komt men actieve of genezen ooraandoeningen en erfelijke oorafwijkingen in de familie op het spoor.

Bovendien kan men, indien reeds eerder in lawaai werd gewerkt, uit het al of niet aanwezig zijn van gehoorschade een indruk krijgen over de resistentie.

Verder is een beginaudiogram nodig om straks definitief te kunnen beoordelen of de afdeling een schadelijk lawaainiveau heeft, respectievelijk of de beschermende maatregelen voldoende succes hebben gehad.

Zijn er reeds gehoordrempelafwijkingen, dan behoeven deze, bij mogelijke schadevorderingen, niet ten laste van de nieuwe werkgever te komen.

Door het doen van een gevoeligheidsproef kan reeds dadelijk een indruk verkregen worden van de weerstand, die het oor heeft tegen acustisch trauma.

Personen met een actieve middenoorontsteking, een niet-traumatische perceptiestoornis of tekenen van beginnende otosclerose bespare men het blootstaan aan lawaai. Ook ten aanzien van personen, die familieleden met perceptiestoornissen hebben, zij men zeer voorzichtig.

Bij eenzijdig doven moet, naast de mogelijkheid dat de hoorfunctie van het zieke oor nog slechter kan worden door een geringe weerstand tegen lawaaibeschadiging, ook worden overwogen dat een acustisch trauma van het enige bruikbare oor een bijzonder nadeel zal zijn.

Of bij het stijgen der leeftijd de gevoeligheid voor het verkrijgen van acustisch trauma toeneemt, is niet met zekerheid bekend. In tabel 17 zijn onze gegevens hieromtrent bijeengebracht. Het aantal audiogrammen per groep is te gering om een duidelijk oordeel mogelijk te maken. Zo de resistentie tegen lawaaitrauma bij verschillende leeftijdsklassen al uiteen loopt, is dit pas te merken bij de groepen met 8 dienstjaren of meer.

Om reeds bij de keuring vóór de indiensttreding een indruk te krijgen over de *resistentie* van het gehoor van de gekeurde, heeft men voorgesteld om de veranderingen van de gehoordrempel na te gaan na kortdurende blootstelling aan intens geluid. Men neemt hierbij aan, dat er overeenstemming zal bestaan tussen de gehoordrempelverandering bij kortdurende expositie onder experimentele omstandigheden en bij blootstelling tijdens de arbeid aan industrielawaai. Bovendien moet men dan veronderstellen, dat er een correlatie bestaat tussen de grootte van het dagelijks optredende tijdelijke gehoorverlies en de snelheid van ontstaan en grootte van het resulterende permanente acustische trauma. Daar het belangrijker lijkt om te weten, of er ten tijde van een hernieuwde expositie nog een rest is van de overprikkelingsdoofheid van de vorige keer, bepalen enkele onderzoekers ook de snelheid van het herstel.

De suggestie om op deze wijze de gevoeligheid te bepalen wordt het eerst aangetroffen bij Temkin. Peyser kwam daarna met een practische

TABEL 17

De resistentie tegen acustisch trauma bij toenemende leeftijd

De traumagraad, berekend na toepassing van een correctie voor presbyacusis, bij stijgende leeftijd, maar gelijke expositieduur

Om niet door een te gering aantal waarnemingen per klasse de overzichtelijkheid te benadelen, werden twee grotere groepen gevormd door samenvoeging van de audiogrammen van afdelingen, die bleken onderling vergeleken te kunnen worden

Groep 1: werfarbeiders (kokers, ketelmakers, klinkers, aanhouders, klinkerhulpen, boorders, ijzerwerkers)

Expositieduur	< 1 jaar						1 – < 2 jaar						2 – < 4 jaar						4 – < 8 jaar						8 – < 16 jaar						16 – < 32 jaar						32 jaar &c					
Leeftijdsgroepen in jaren	10 – 19	20 – 29	30 – 39	40 – 49	50 – 59	60 – 69	10 – 19	20 – 29	30 – 39	40 – 49	50 – 59	60 – 69	10 – 19	20 – 29	30 – 39	40 – 49	50 – 59	60 – 69	10 – 19	20 – 29	30 – 39	40 – 49	50 – 59	60 – 69	10 – 19	20 – 29	30 – 39	40 – 49	50 – 59	60 – 69	10 – 19	20 – 29	30 – 39	40 – 49	50 – 59	60 – 69	10 – 19	20 – 29	30 – 39	40 – 49	50 – 59	60 – 69
traumagraad	Aantal waarnemingen per klasse																																									
0																																									
1							1	1																			1														
2	1						2						1								1						2	2			2										
3							1	2					1						2	3						2		2												
4				1																					2		1	1					1	1							
5	2	2		3				1			1	1	1						1	3	2				3		1	3				2	2							1	
6	1										1	2								4		2					4	5	3			3	2	2						5	
7												1							1	1		1			1	1	4	2			1	1	1	1						3	
8																			1			2					2	1			1	2	1							3	
9																			1								1	1	2												
10																						1							2												
11																														1											
12																														1											

Groep 2: chocoladefabriek (2e en 3e etage), dynamoblikponserij, automatenafdeling, zware plaatwerkerij

traumagraad																																										
0	3							3			1		1	1	1	1			1	1	5	1	2		2			1	1												
1	4	1	3					3	1	1			2	1	1	1				1	3	1						1													
2	3		1					6	2		1		3			1	2		1	1	4		1			10		2	1												
3	5	1						2	2				2	1						4	3		1			3		3	2												
4	9		1				2	2	1	1				1						3	2		2			1		1													
5	2																1			1	1	2					2	2	1												
6			1														1												1												

proef, die hij nadien nog wijzigde. Hij gebruikt thans een prikkeltoon van 1024 Hz bij 100 dB gedurende 3 minuten. De gehoordrempelverandering wordt dan bepaald, eveneens bij 1024 Hz. Na een half uur herhaalt hij de proef en bepaalt de drempelverhoging bij 1024 Hz in de beengeleiding.

Wilson, die de waarde van deze proef naging voor militairen die schietoefeningen deden, vond weinig correlatie met de praktijk. Daar bij gelijkblijvende intensiteit de invloed op de gehoordrempelverandering toeneemt bij het toenemen van de frequentie, terwijl bovendien de grootste drempelverandering ontstaat bij een hogere frequentie dan die van de prikkeltoon, gebruikte Wilson daarna een prikkeltoon van 2048 Hz van 80 dB gedurende 5 minuten en bepaalde hij de drempelverandering bij 4096 Hz.

Van Dishoeck & Van Gool gebruikten als prikkeltoon 2500 Hz, 100 dB gedurende 3 minuten. Deze toon werd gekozen, omdat ze sterk traumatiserend werkt en in het industriële lawaai frequenties uit dit gebied overheersen. Bovendien is de resulterende dip ongeveer een half octaaf hoger gemakkelijk te registreren. Genoemde schrijvers bepaalden de drempelverhoging met de continue methode en vonden, dat het maximum ervan niet steeds precies een halve octaaf boven de prikkelfrequentie ligt. Dit kan mogelijk verklaren, waarom volgens Greisen ook de gevoeligheidsproef van Theilgaard, die de drempelstijging bepaalde op een half octaaf boven de stimulerende frequentie, nog geen bevredigende resultaten in de praktijk geeft. Verder vond Theilgaard, evenals Van Gool, dat bij een serie personen het onderling verschil in gevoeligheid voor „fatigue" verandert, wanneer men een andere toon bij de belastingsproef gebruikt. De gehoorvermoeidheid zou volgens hem voor diverse prikkelfrequenties moeten worden bepaald. In tegenstelling tot Van Gool vindt hij, dat bij één persoon de reacties van test tot test kunnen verschillen. Hij schrijft: „As long as the cause of this variability is not known, it is indeed too early to realize a noise prophylaxis based on measurements of auditory fatigue. The variability of reactions will at any rate involve certain errors in the prognosis".

De methode van het continue audiogram maakt het mogelijk om voldoende snel na het toedienen van de prikkeltoon een volledig audiogram te maken. Behalve onjuist is het dus ook onnodig om de gehoordrempelverandering slechts bij één frequentie te meten. Het advies van Theilgaard om niet te prikkelen met één zuivere toon kan opgevolgd worden door een toonmengsel te gebruiken, dat alle hoorbare frequenties bevat (Wheeler, Larsen). Het lijkt van voordeel de geluiddruk zodanig over het frequentiespectrum te verdelen, dat men van elk onderdeel daarvan een even grote invloed op de gehoordrempelverandering mag verwachten. Daarbij zal tevens de herstelneiging beoordeeld moeten worden, hetzij door na te gaan hoeveel tijd er verloopt voor het tijdelijke gehoorverlies weer geheel verdwenen is (Wheeler, Van Gool), hetzij door de

mate van herstel te bepalen op een vaste tijd na de belasting. Men moet er daarbij rekening mee houden, dat het herstel soms een zeer grillig verloop kan hebben (Van Gool, Hirsh & Ward). Van Dishoeck & Van Gool achtten het de meest ideale procedure om de belastingsproef te doen met het lawaai van de afdeling, waar de arbeider zal komen te werken. Dit idee heeft ongetwijfeld veel aantrekkelijks, daar wij er reeds op wezen, dat het avondaudiogram meer op het toekomstige audiogram lijkt dan het ochtendaudiogram. Het is echter in de praktijk moeilijk uit te voeren, terwijl bovendien de resultaten van zodanige proeven door verscheidene onderzoekers en voor verschillende soorten lawaai niet onderling vergeleken zullen kunnen worden.

Gallagher & Goodwin beschreven als resultaat van belastingsproeven met een „witte" ruis, dat zij hun proefpersonen op grond van de grootte van de tijdelijke drempelverandering op een eenvoudige en ongezochte wijze in al of niet gevoeligen konden verdelen. Er waren namelijk twee duidelijk te onderscheiden gehoorverlieswaarden, die het meest voorkwamen en die als gemiddelden voor de beide groepen konden worden beschouwd.

Door ons werd nagegaan of een dergelijk resultaat ook met de proef van Van Dishoeck & Van Gool te vinden was. Bij een gedeelte van de onderzochte personen hebben wij de tijdelijke gehoordrempelverandering bepaald, die optrad door expositie aan een toon van 2,8 kHz met een sterkte van 100 dB gedurende 3 minuten. Daar volgens de laatstgenoemde schrijvers geen bijzondere waarde behoeft te worden gehecht aan de frequentie van 4000 Hz, werd de maximale drempelverandering (de diepte van de dip) als maat beschouwd, ongeacht de plaats waar deze zich in het audiogram bevond.

Om zo min mogelijk gestoord te worden door een eventueel reeds aanwezig lawaaitrauma werden alleen de resultaten bewerkt van personen, die werkzaam waren in drie afdelingen met weinig of geen lawaaiinvloed. Dit waren:

1. Chocoladefabriek; afdeling enrobeuses;
2. Sigarettenfabriek; afdeling sigarettenmachines;
3. Constructiebedrijf; leerschool.

Van het uitzoeken van audiogrammen met geringe afwijkingen uit andere afdelingen werd afgezien, daar dit een selectie van ongevoeligen zou kunnen betekenen.

Uit tabel 18 blijkt, dat onze gegevens de bevindingen van Gallagher & Goodwin niet bevestigen. Om na te gaan of dit afwijkende resultaat ontstaan kan zijn, doordat dezen hun proeven hadden gedaan met een ruis in plaats van met een zuivere toon, werden audiogrammen bewerkt van 30 normaal horende studenten, die onderzocht waren voor en na expositie aan een witte ruis van 90 dB totaalniveau gedurende gemiddeld 6 minuten (s = 70 sec). Deze audiogrammen waren verkregen bij een

TABEL 18

Het aantal personen van de sigarettenmachine-afdeling, de leerschool en de enrobeuse-afdeling, dat na belasting met een zuivere toon van 2,8 kHz, 100 dB gedurende 3 minuten een maximale gehoordrempelverschuiving van de aangegeven waarde in dB vertoonde

Gehoordrempel-verschuiving in dB	Aantal oren
0 (−2 - +2)	26 (24%)
5 (3 - 7)	27 (25%)
10 (8 - 12)	33 (31%)
15 (13 - 17)	8 (7%)
20 (18 - 22)	7 (6%)
25 (23 - 27)	4 (4%)
30 (28 - 32)	3 (3%)
Totaal	108

Van een duidelijke scheiding tussen gevoeligen en ongevoeligen is geen sprake. De mediaan ligt bij 7 dB, het gemiddelde bij 8,5 dB. Daar er op het totaal van 108 oren 14 waren met een tijdelijke dip van 18 dB of meer waar tegenover 26 oren geen drempelverschuiving vertoonden, mag men zeggen, dat 24% ongevoelig is en 13% zeer gevoelig. Iets meer dan de helft, namelijk 55, had een tijdelijk verlies van 8 dB of meer.

onderzoek naar de invloed van lawaai op psychische arbeid in het acoustische laboratorium van de Leidse Keel-, Neus- en Oorheelkundige Kliniek. Zij werden mij door de heer Bitter welwillend ter bewerking afgestaan. De frequentie-analyse van de gebruikte ruis is weergegeven in figuur 48. Uit tabel 19 blijkt, dat de drempelverschuiving voor 4,8 kHz en 5,7 kHz groter is dan voor 4,0 kHz. In tabel 20 is de frequentieverdeling weergegeven van de diepte van de tijdelijke dips in dB. Evenmin als bij het onderzoek met zuivere tonen is hierbij tweetoppigheid te bespeuren.

Afzonderlijk werd nagegaan of het geoorloofd was geweest voor deze berekeningen de waarden van linker- en rechteroren tezamen te nemen. Na de lawaai-expositie was namelijk de drempelverandering eerst aan het linker- en daarna aan het rechteroor gemeten, zodat het audiogram rechts pas enkele minuten na afloop van de lawaaibelasting werd opgenomen. Indien in deze tijd reeds herstel begint op te treden, zouden de drempelveranderingen rechts kleiner moeten zijn dan links.

In navolging van Van Dishoeck & Van Gool werd niet uitgegaan van het verlies bij een bepaalde frequentie, maar van de grootste gehoordrempelverandering in het continue audiogram. Deze was echter 13 maal links groter dan rechts en 15 maal rechts groter dan links (links gemiddeld 17,2 dB, rechts gemiddeld 17,7 dB).

Hoewel de resultaten van links en rechts daarom samen genomen zijn, moet er op gewezen worden dat de waarden voor de beide oren niet

TABEL 19

De gemiddelde gehoordrempelwaarden in dB ten opzichte van de nullijn van de gebruikte Western Electric audiometer (negatieve waarden zijn beter dan normaal) en hun standaarddeviatie bij 30 studenten (60 oren)
Voor en na de inwerking van een „witte" ruis van 90 dB gedurende gemiddeld 6 min (s= 70 sec). Tevens gemiddelden en standaarddeviaties van de door de lawaai-inwerking teweeggebrachte drempelverschuivingen

Frequentie (kHz)	Gemiddelde voor	Standaard deviatie voor	Gemiddelde na	Standaard deviatie na	Gemiddeld verlies	Standaard deviatie verlies
0,125	5,2	5,8				
0,25	5,0	4,8				
0,5	3,4	3,7				
1,0	1,3	2,1				
1,4	0,7	2,5				
2,0	−0,2	2,7				
2,8	−0,7	3,2	1,4	4,6	2,0	3,7
3,4	−1,3	3,5	4,6	6,3	5,8	4,8
4,0	−1,4	4,7	9,0	7,7	10,4	6,3
4,8	−1,7	6,1	12,4	8,0	14,3	6,6
5,7	−1,0	6,3	13,3	8,0	14,4	8,5
6,7	−1,6	8,5	6,9	8,9	8,6	8,4
8,0	−5,6	6,6	1,0	9,8	6,6	9,0
10,0	−7,8	8,2	−4,5	10,3	3,2	9,4

TABEL 20

De maximale gehoordrempelverschuiving in dB na inwerking van een „witte" ruis van 90 dB gedurende gem. 6 min (s = 70 sec) bij 30 studenten (60 oren)

Gehoordrempelverschuiving in dB	Aantal oren
0 (−2 - +2)	2 (3%)
5 (3 - 7)	3 (5%)
10 (8 - 12)	8 (13%)
15 (13 - 17)	16 (27%)
20 (18 - 22)	16 (27%)
25 (23 - 27)	10 (17%)
30 (28 - 32)	4 (7%)
35 (33 - 37)	1 (2%)
Totaal	60

geheel onafhankelijk variëren. De correlatie-coëfficient voor het grootste verlies in dB tussen beide oren is 0,37 (s = 0,19).

Dat het effect van het in tabel 20 weergegeven experiment iets groter was dan bij de proef van Van Dishoeck & Van Gool (tabel 18) kan veroorzaakt zijn door het verschil in expositieduur, namelijk 6 minuten in plaats van 3 minuten, en doordat de proefpersonen niet gewend waren aan lawaai.

Conclusie: Bij proeven ter bepaling van de resistentie tegen lawaaidoofheid door het nagaan van de drempelverschuiving na het blootstellen aan een zuivere toon of een toonmengsel, zal men de grenzen tussen „gevoeligen", „normalen" en „ongevoeligen" arbitrair moeten vastleggen.

Men zal zich tevoren dienen af te vragen welk percentage der onderzochte personen men gevoelig, normaal of ongevoelig wil noemen. Pas wanneer men de correlatie van deze proeven met de in de praktijk optredende lawaaitrauma's heeft gevonden, zal men in staat zijn de bedoelde percentages zuiverder te bepalen.

Het begrip „Isotraumatische ruis"

Bij het bespreken van de resistentieproef werd voorgesteld om een ruis te gebruiken, die zoveel mogelijk de gehoordrempel voor alle frequenties in gelijke mate zou beïnvloeden.

Davis c.s. hebben „equinoxious exposures" aangegeven, combinaties van frequentie, intensiteit en duur van geluidprikkels, die alle even grote gehoordrempelverschuivingen ten gevolge hebben. Ook Van Gool heeft in zijn proefschrift beschreven, dat tonen van 2000-6000 Hz bij een sterkte van 80 dB boven de normale gehoordrempel na een inwerkingsduur van 10 minuten dipmaxima van gelijke grootte veroorzaken. Rol vond voor 3000 Hz nog iets grotere afwijkingen dan voor 2000 Hz. Van 1000 Hz was het effect veel minder, van 500 Hz en lager was het zelfs niet meer vast te stellen.

Daar deze proeven met zuivere tonen zijn gedaan, wordt in tabel 21 weergegeven, hoe de drempelveranderingen waren bij ons onderzoek met „octaafband-ruisen". De volgorde is zoveel mogelijk die van toenemend effect.

Uit deze tabel blijkt, dat bij lawaainiveau's van 100 dB of minder pas met zekerheid een tijdelijke gehoordrempelverandering is vast te stellen, wanneer de sterkste frequenties hoger zijn dan de 960 Hz-band. Dit is in overeenstemming met de bevindingen van Van Gool en Rol voor zuivere tonen. De banden van 3840 Hz en 7680 Hz gaven reeds drempelverandering bij geringere sterkte dan de band van 1920 Hz, maar deze band had op haar beurt weer meer effect dan het totale lawaai.

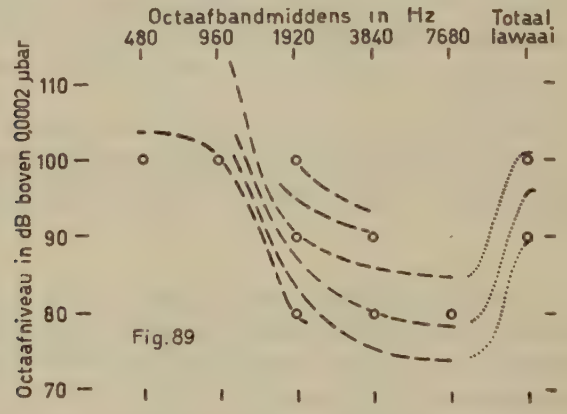
TABEL 21

Maximale waarde van de gehoordrempelverschuiving in dB (grootst mogelijke gemiddelde van twee op ½ octaafafstand liggende afleesfrequenties) na blootstelling aan het in de figuren 48 en 49 weergegeven lawaai (chocoladefabriek) gedurende 5 minuten

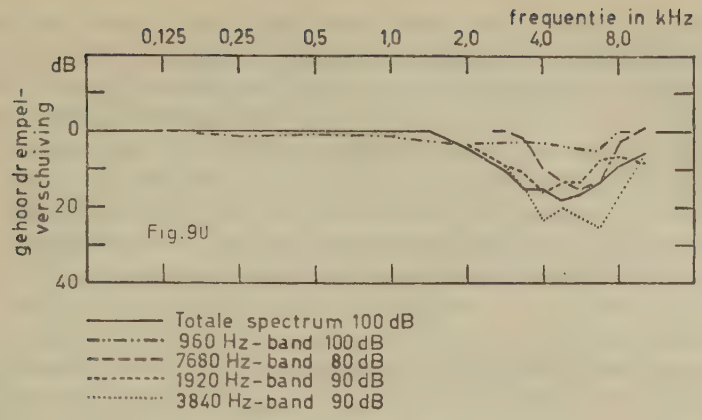
Octaafband-midden in Hz	Niveau in dB	Proefpersonen				
		I	II	III	III'	IV
120	100	0	½	9½		4
480	100	2½	4	5		8½
960	100	−1	4½	9	8½	7
1920	80	7	0	13½		0
Totaal lawaai	90	10½	6½	17	21	1½
3840	80	8	15½	26½		8
7680	80	9½	17½	21		12
Totaal lawaai	100	16	17½	17	27	17½
1920	90	17	18½	20½		11½
3840	90	11½	19½	36½		23
1920	100	27½	17½	39		

In de grafiek van figuur 89 zijn de onderzochte combinaties weergegeven en „isotraumatische" lijnen getekend. Hieruit kan gelezen worden, dat wat betreft de lage frequenties alleen zeer hoge en practisch moeilijk realiseerbare geluidniveau's voor het normale oor significante drempelveranderingen ten gevolge zullen hebben bij de gebruikelijke, betrekkelijk korte expositietijden.

Het totale lawaai heeft bij een inwerkingsduur van 5 minuten een effect dat, wat het maximum van de drempelverandering betreft, ligt tussen dat van de 960 Hz-band en de 1920 Hz-band in. Dit is uit het gemeten



FIGUUR 89 - „Isotraumatische lijnen". Met deze lijnen is weergegeven bij welke niveau's de verschillende octaafbandruisen een even grote maximale drempelverschuiving gaven bij expositie gedurende 5 minuten.



FIGUUR 90 - De tijdelijke gehoordrempelverandering door inwerking gedurende 5 minuten van het lawaai van dribbelbanen in een chocoladefabriek, resp. van de afzonderlijke octaafband-componenten daarvan op hetzelfde sterkteniveau als waarin ze in het totale spectrum gemeten zijn.

spectrum van het totale lawaai niet direct verklaarbaar. Immers de uitwerking hiervan bij 100 dB is duidelijk minder dan dat van de 3840 Hz-band afzonderlijk bij 90 dB, hoewel deze band in het totale lawaai met die sterkte aanwezig is (figuur 90). Een mogelijke verklaring is gelegen in de omstandigheid dat beschermende werking door reflectoire contractie van de middenoor-spiertjes het sterkst optreedt bij prikkelfrequenties lager dan ongeveer 2000 Hz. Deze zijn in het totale lawaai wel, in de 3840 Hz-band niet voldoende aanwezig.

Het is echter ook mogelijk dit verschijnsel te verklaren met de distorsietheorie van Van Dishoeck & Van Gool over het ontstaan van het acustische trauma. Vele schrijvers hebben getracht een antwoord te vinden op de vraag, waarom bij de beroepshardhorendheid een typische lawaaidip optreedt in het frequentiegebied tussen 2000 en 6000 Hz en tevens waarom bij de experimentele dip de grootste drempelverschuiving een half tot één octaaf boven de prikkelfrequentie ligt. Zowel de opvatting van Fowler, dat door tinnitus maskering optreedt, als die van Jacobson over het ontstaan van schadelijke hoge tonen door resonanties in de uitwendige gehoorgang of die van Shambaugh over de onwerkzaamheid van de oorspiertjes bij hoge geluidfrequenties kan gemakkelijk weerlegd worden. Larsen veronderstelde, dat de zintuigcellen voor het genoemde frequentiegebied een verminderde weerstand hadden door slechte vascularisatie. Een theorie van Ruedi & Furrer zal straks nog besproken worden.

De zintuigcellen voor het waarnemen van geluid zijn de haarcellen, gelegen op het basilaire membraan in het zgn. slakkenhuis. Naarmate deze cellen dichter bij het helicotrema, in de top van het slakkenhuis, liggen, dienen ze voor het waarnemen van lagere tonen en omgekeerd,

naarmate ze dichter bij het ronde en ovale venster, aan de basis van het slakkenhuis, liggen, voor de waarneming van hogere tonen. Wanneer een zuivere toon het oor treft, ontstaat volgens onderzoekingen van Von Békésy een vloeistofwerveling in de scala vestibuli boven het basilaire membraan en een lopende golfbeweging in dit membraan tussen de vensters en de werveling, met een maximale deviatie vlak bij die werveling. De localisatie van deze verschijnselen langs het basilaire membraan is afhankelijk van de frequentie van de toon. Men neemt aan, dat de werveling zich bevindt boven de cellen, die dienen voor de perceptie van de toon, die haar heeft veroorzaakt en dat ze de adequate prikkel is voor deze cellen.

De buigingen in het basilaire membraan echter zullen een schadelijke invloed kunnen hebben. De kans op schade is het grootst ter plaatse van de sterkste buigingen, dus iets meer naar de vensters dan de werveling. In het audiogram komt deze invloed dan ook tot uiting in een drempelverhoging in een frequentiegebied, dat hoger ligt dan de frequentie van de stimulus. Bij fabriekslawaai, waarvan het geluidspectrum gewoonlijk vrij vlak is met een flauw maximum in de middelste octaven, ondervindt de arbeider de schadelijkste invloed van de octaven rond 2000 en 4000 Hz, daar het oor hier het gevoeligst voor is. Dientengevolge is de resulterende lawaaidip maximaal tussen 3000 en 6000 Hz.

Ruedi & Furrer veronderstelden op grond van hun proeven over toonhoogte-verandering door „fatigue", dat de wervelingen van tonen lager en hoger dan 4000 Hz tegengesteld van richting zijn, en ze vermoedden, dat deze, bij elkaar komende boven het gebied rond die frequentie, in één richting werken en een sterke trek op het basilaire membraan uitoefenen. Daar zij echter geen rekening hielden met de mogelijkheid, dat bij hun experimenten niet alleen het geëxponeerde oor, maar ook het andere beïnvloed werd, is hun vooronderstelling door Van Dishoeck & Van Gool niet bewezen geacht.

Het is nu ook verklaarbaar, waarom een zuivere toon of een ruis met een uitgesproken maximum in een smal frequentiegebied schadelijker is dan een fabriekslawaai of een witte ruis, waarin die toon of die band met dezelfde intensiteit aanwezig is. In het laatste geval zal immers de mogelijkheid van plaatselijke distorsie van het basilaire membraan veel geringer zijn.

3. *Regelmatige audiometrische contrôle van lawaai-arbeiders*

Behalve oorfunctieproeven bij keuring dient men ook het gehoor van in lawaai arbeidende personen regelmatig na te gaan. Hierdoor komt men beginnende beroepshardhorendheid vroegtijdig op het spoor en kan men de bruikbaarheid en doeltreffendheid van ingevoerde beschermende maatregelen en van eventueel toegepaste gevoeligheidstests controleren. Men doet, in verband met het soms zeer snel optreden van irreparabele schade, verstandig het eerste heronderzoek na in dienst treden reeds

binnen vier weken in te stellen. Wanneer geen beschadiging aantoonbaar is, onderzoeke men opnieuw na een half jaar, daarna een jaar later en vervolgens om de twee jaar. Voor zeer hoge geluidniveau's, bijvoorbeeld bij vliegtuigmotor-proefstanden, moeten deze termijnen veel korter genomen worden. Soms zal het zelfs nodig zijn, vóór elke nieuwe expositie te controleren of de tevoren onder dezelfde omstandigheden opgetreden drempelverschuiving reeds volledig hersteld is.
Resumerende kunnen de volgende punten worden genoemd, die van belang zijn voor het *vroegtijdig herkennen* van beginnende beroepshardhorendheid.

De eerste tekenen van gehoorbeschadiging door lawaai zijn het optreden van oorsuizen en het ontstaan van een dip met het maximum in het gebied van 3000-6000 Hz.

Voor het opsporen van deze dips biedt de continue audiometrie met de Van Dishoeck-audiometer zeer grote voordelen. Ze is superieur bij de afgrenzing van de dip, ze is snel en nauwkeurig, ze is door de nullijncompensatie ideaal voor serie-onderzoekingen (screening).

Zowel het ontstaan als het herstel van lawaaischade kan met zeer plotselinge sprongen geschieden en blijvende gehoorverliezen na kortdurende exposities zijn beschreven, evenals plotseling herstel van reeds enige tijd bestaand acustisch trauma.

Bij de beoordeling van het verschil tussen twee audiogrammen denke men aan de reeds besproken spreiding in gehoordrempelbepalingen bij één persoon.

Andere symptomen als oorpijn, duizeligheid, hoofdpijn, slapeloosheid, enz. zijn voor de vroege diagnose van de schade aan het gehoor van ondergeschikt belang.

Het gevoel van doofheid na de arbeid in de eerste dagen na indiensttreding is een aanwijzing, dat althans de tijdelijke vermoeidheid van het oor groot is. Hierdoor bestaat er ook meer kans, dat er de andere dag nog geen volledig herstel is opgetreden en er dus cumulatie mogelijk is met dientengevolge blijvend trauma. Later merkt de arbeider geen doofheid meer. Hij lijkt aan het lawaai „gewend". Dit betekent echter niet, dat nu zijn audiogram na afloop van het werk minder lawaai-invloed zou vertonen dan eerst, maar alleen, dat het ochtendaudiogram reeds beschadiging vertoont en dat de arbeider dus minder verschil merkt. Gewenning is dus niet verhoging der weerstand, doch afstomping.

Het gebruik van gehoorbeschermers

Zo door arbeiders al voorzorgen tegen het optreden van beroepshardhorendheid worden genomen, bestaan deze meestal uit het aanbrengen van een wattenprop in de uitwendige gehoorgang. Ook zijn wij tegengekomen, dat een beugel was gemaakt met beiderzijds een grote tampon, die de oren geheel bedekte. Deze gaf echter last van transpireren en was alleen bruikbaar, omdat het lawaaiige werk gedurende slechts telkens

betrekkelijk korte perioden werd verricht. De wattenproppen hebben het voordeel van gemakkelijke toepasbaarheid en verkrijgbaarheid, onpijnlijkheid en goedkoopte. Hun nadeel is, dat de geluiddemping slechts zeer gering is, zodat het effect twijfelachtig is. Sacher vergeleek het gehoor van 65 ketelmakers, die steeds watten gebruikten met dat van 393, die dit niet deden. Hij vond practisch een gelijk percentage gehoorafwijkingen in de beide groepen. Watten geeft enige demping van de allerhoogste frequenties, waardoor het lawaai iets minder onaangenaam van karakter wordt. Flodgren acht het gebruik van watten altijd nog te prefereren boven het nalaten van elke voorzorgsmaatregel. Siebenmann, Larsen, Bunch, Perwitzschky & Lanig, Van Dishoeck en anderen hebben aangetoond, dat demping van het lawaai met watten belangrijk verbetert door het impregneren met vaseline, paraffine, glycerine of was. Anderen zijn ook hierover niet enthousiast en halen daarbij de onderzoekingen aan van Beck & Holtzmann, later herhaald door Larsen, die het gehoor hebben nagegaan bij arbeiders, die een eenzijdige afsluiting van de gehoorgang hadden door cerumen. Zij vonden geen belangrijke verschillen in gehoorscherpte tussen de beide oren. Men heeft toen wel aangenomen, dat het trauma derhalve via de beengeleiding tot stand kwam en aan vloertrillingen een beslissende invloed op de beroepsdoofheid toegekend. De demping door cerumen is echter vaak slechts gering, omdat geen volledige afsluiting is opgetreden of omdat de prop vrij kan mee trillen. Zo dit wel het geval is, kan nooit bekend zijn hoe lang deze heeft bestaan. Juist het optreden van volledige afsluiting, bijvoorbeeld doordat er water in het oor komt, is dikwijls een reden de prop te laten verwijderen. De belangrijkheid van vloertrillingen kan uit genoemde observaties dus niet worden afgeleid.

Bij het gebruik van de hierboven beschreven wasproppen is alleen aan de eisen der hygiëne te voldoen, wanneer ze zeer frequent vernieuwd worden. Men heeft gezocht naar langer bruikbare gehoorbeschermers, die doelmatig gereinigd kunnen worden. Een goed voorbeeld hiervan is de kogelvormige, ebonieten antifoon met metalen handgreepje ter vergemakkelijking van het aanbrengen en uitnemen.

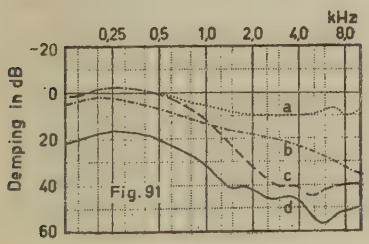
Ook het bezwaar, dat door de totale afsluiting tevens het verstaan zou worden bemoeilijkt, heeft vooral ten behoeve van militairen de aandacht gehad. Er werd een oordopje ontwikkeld, waarbij alleen afsluiting optreedt bij explosies (Kolthoff en Mallock Armstrong antifoon). Deze dopjes bestaan uit een in de gehoorgang aangebracht ebonieten buisje, waarin een mica plaatje, dat door de verhoogde luchtdruk de doorboring van het buisje afsluit. Een moderne uitvoering (Earvalv) heeft een dubbelwerkende klep en een filterwerking voor de hoge tonen. Bij snel repeterende explosies, zoals van een machinegeweer, en bij continu lawaai zijn dergelijke dopjes niet meer effectief, zodat ze in de industrie niet bruikbaar zijn. De doorboring is moeilijk te reinigen en raakt verstopt door cerumen, waardoor het gewenste effect verdwijnt.

Perwitzschky & Lanig ontwikkelden een dubbelwandige metalen kap, die het oor geheel omsloot. Ook lederen (Flodgren) en schuimrubber oorkappen (Mallock Armstrong Nosonic-kappen) werden beproefd. Dickson & Ewing vinden goede bescherming door vliegerkappen, ook al dempen ze volgens Zwislocki alleen hoge tonen.

Geactiveerd door de tweede wereldoorlog en mogelijk gemaakt door het inmiddels beschikbaar komen van plastische kunstharsen kwam in Amerika door intensieve groepsresearch de „V-51 R earwarden" tot stand (Taylor). Dit type is thans in Nederland in de handel als M.S.A.-, Sonex- en Audiumdopjes. Een recente verbetering is het Hultgrendopje van zachte schuimplastic, dat minder weerstand tegen vervorming heeft en zich daardoor prettiger aan de vorm van de gehoorgang aanpast.

In Zweden zijn o.a. door Holmgren en Flodgren en in Zwitserland door het Institut für Fernmeldetechnik an der E.T.H. Zürich vergelijkende onderzoekingen gedaan naar de bruikbaarheid van verschillende typen gehoorbeschermers voor militairen. Ook voor de industrie-arbeiders is deze ontwikkeling belangrijk, maar toch zijn de eisen in een bedrijf, waar het lawaai meestal continu is, anders dan in militaire situaties.

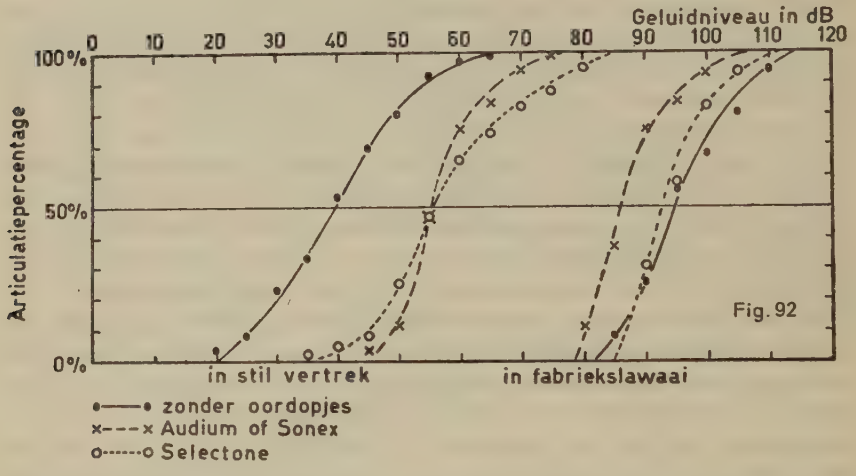
Zwitserse onderzoekers ontwikkelden en propageerden selectief werkende gehoorbeschermers, namelijk een verbeterde hoorkap van Ruedi & Furrer en verbeterde oordopjes van Krethlow en Zwislocki. Daar vooral de hoge tonen traumatiserend werken, terwijl met frequenties uit het lage en middengebied nog zeer wel spraakverstaan mogelijk is (zie figuur 51), werd de gehoorbeschermer zodanig geconstrueerd, dat de lage tonen doorgelaten, maar de schadelijke hoge tonen tegengehouden werden. De gehoorbeschermer van Ruedi & Furrer bestaat uit twee door een beugel verbonden metalen schelpen, die elk over de gehele oorschelp passen en voorzien zijn van een aantal kleine openingen, waardoor de acoustische filterwerking ontstaat. Het Krethlow-dopje is een rubber buisje, dat past in de gehoorgang en waarvan de uitwendige opening door een doorboord metalen plaatje is afgesloten. Het Selectone-dopje van Zwislocki bestond in de eerste vorm uit een doorboord ebonieten staafje in een rubber hulsje. Later werd een dopje gemaakt bestaande uit plastische kunsthars, waarvan de uitwendige opening door een hard kapje van bijzondere constructie werd afgesloten. In figuur 91 is de dempingskarakteristiek van enkele typen oordopjes weergegeven.



Figuur 91 - Geluiddemping door oordopjes [gemiddelde bij 6 personen].

a droge watten;
b vetgemaakte watten;
c Selectone;
d Audium.

Bij gebruik van de gehoorbeschermers van het type V-51 R treedt voor alle frequenties een demping van 20-30 dB op, zodat spraak verzwakt, maar onvervormd gehoord wordt. Hoewel door deze verzwakking het verstaan van spraak in rustige omgeving dus in geringe mate bemoeilijkt wordt, is uit onderzoek van Kryter gebleken, dat men in een continu lawaai ondanks de afsluiting even goed of zelfs beter verstaat dan zonder dopjes. Gehoorbeschermers, die de lage tonen ongehinderd doorlaten, zullen in rustige omgeving het verstaan van spraak nog minder belemmeren, zolang alleen voor frequenties boven 1500 Hz demping optreedt. Uit onderzoekingen als die van Dickson, Ewing, Russi, Högger en anderen is wel komen vast te staan, dat dit soort oordopjes effectief is in het voorkomen van gehoorbeschadiging. Het staat echter geenszins vast dat bij gebruik van deze dopjes het spraakverstaan in continu lawaai



FIGUUR 92 - Spraakaudiogrammen, opgenomen terwijl de uitwendige gehoorgang al of niet afgesloten was met een gehoorbeschermer van een type, dat geheel afsluit [Audium of Sonex] of van een type, dat de lage tonen ongehinderd laat passeren [Selectone].

De curves zijn gemiddelden van spraakaudiogrammen van 3 personen. Van de getekende krommen zijn de drie ter linker zijde het resultaat van metingen in een stille onderzoekkamer, de drie ter rechter zijde van metingen in een fabrieksafdeling met ongeveer 85 dB totaal geluidniveau.

Het woord-materiaal bij het onderzoek in de stille kamer bestond uit spondae-lijsten en werd aangeboden via hoofdtelefoons. Bij het onderzoek in de fabriek werden zinnen-lijsten gebruikt, omdat daarmee eenvoudiger was vast te stellen of het gehoorde correct was verstaan. De zinnen werden weergegeven via een luidspreker om de dempende werking van een telefoon op het storende lawaai te vermijden.

Uit de figuur blijkt, dat bij dit onderzoek in een stille onderzoekruimte een versterking van 20 dB nodig was om met de gehoorbeschermer een zelfde verstaanbaarheid te bereiken als zonder dopjes. Er was daarbij weinig verschil tussen beide typen dopjes. In het fabriekslawaai werd met het type Audium of Sonex beter verstaan dan zonder dopjes of met het type Selectone. Doordat dit laatste type de lage tonen doorlaat, blijft ook de maskerende werking van het lawaai bestaan.

op dezelfde wijze verbetert als bij niet-selectieve gehoorbeschermers. In figuur 92 is een oriënterend eigen onderzoek weergegeven waaruit het tegendeel bleek. Verder is de reiniging moeilijker dan van het V-51 R-type. Verstopping van de fijne kanaaltjes, die in alle selectieve gehoorbeschermers voorkomen, doet de specifieke filtereigenschappen verdwijnen.

Wil een individuele gehoorbeschermer nut hebben, dan moet de verzwakking van het lawaai zodanig zijn, dat de energie, die het binnenoor bereikt, onder de gevaardrempel ligt. Hiertoe is meestal een verzwakking van 20-30 dB voor de hogere frequenties voldoende. Zoals reeds werd opgemerkt is over de schadelijkheid van tijdens lawaai optredende sterktetoename (pieken) nog weinig bekend. Wel weten we sinds de experimentele arbeid van Ruedi & Furrer, dat het knaltrauma geheel lijkt op de lawaaidoofheid. Furrer heeft het spectrum van een dergelijke knal wiskundig berekend door Fourier-analyse van de oscillografisch vastgelegde geluidgolf, omdat dit niet direct te meten is. De in decibels per octaaf berekende spectra van explosies en knallen vertonen hun maximum in de laagste octaven. Het is voor een explosie van 1 kg trotyl op 8 m afstand 115 dB bij 60 Hz, voor de knal van een 2 cm kanon op 2 m afstand 105 dB bij 200 Hz. Het blijkt, dat door een acoustisch filter de druktoename bij de knal wordt vertraagd door de physische eigenschappen van de resonator, waardoor de drukamplitudo soms tot een factor 10 kleiner kan worden. Of dit ook van toepassing is op de pieken van industrielawaai is niet bekend. In hoeverre deze vertraging ook optreedt bij gewone, geheel afsluitende gehoorbeschermers wordt niet beschreven.

De draagbaarheid van oordopjes

Op initiatief van de werkgroep Gehoorbescherming van het Nederlands Instituut voor Praeventieve Geneeskunde is door vijf bedrijfsartsen nagegaan hoe gehoorbeschermers verdragen werden bij het gebruik in de industrie. Het onderzoek geschiedde met drie soorten dopjes van het type, dat in de uitwendige gehoorgang gedragen wordt. Een week werden Selectone-dopjes met filterwerking gebruikt, een week geheel afsluitende Audium-dopjes en een week gemakkelijk vervormbare wasproppen. In de aansluitende drie weken werden deze soorten opnieuw telkens een week ter beschikking gesteld. Na elke week werd aan de dragers het oordeel gevraagd over de draagbaarheid en de demping van het lawaai, over pijn in het oor of hoofdpijn, over invloed op het werk, op het verstaan van spraak en op oorsuizen, over inbrengen, losraken en verliezen.

In Dordrecht hebben we dit onderzoek verricht bij 16 arbeiders uit de constructiefabriek. Bij het verstrekken en passen van de gehoorbeschermers werd audiometrisch de afsluiting gecontroleerd. Deze werd

voldoende geacht, wanneer in het gebied van 2000-4000 Hz een demping van 15 dB of meer optrad. Het verdient dringend aanbeveling dat deze contrôle telkens bij het verstrekken van nieuwe dopjes wordt verricht en ook tussentijds regelmatig wordt herhaald, bijvoorbeeld door de verbandmeester of een andere persoon, die belast is met de uitgifte en het toezicht op het gebruik van de gehoorbeschermers.

Een goedkoop en gemakkelijk te bedienen apparaat, dat een ruis voortbrengt van frequenties boven 2000 Hz, met regelbaar geluidniveau, zal hierbij goede diensten kunnen bewijzen. Door het verschil te bepalen tussen de gehoordrempels voor de ruis voor en na het inbrengen van de dopjes is het zeer eenvoudig om de afsluiting na te gaan.

De vorm en wijdte van de gehoorgang varieert sterk, zodat bij het aanpassen de keuze van soort en maat van dopje met zorg dient te geschieden. Men moet niet slechts pijn door het dragen voorkomen, waardoor men de gehoorbeschermer in discrediet brengt, maar men moet tevens de gebruikelijke fout van de drager vermijden, namelijk het kiezen van een gemakkelijk zittende te kleine maat, die niet voldoende afsluit. Men zal moeten beschikken over verschillende soorten, vormen en maten van gehoorbeschermers. Sommige arbeiders hebben het ronde Audium-dopje, anderen het meer ovale Sonex-dopje nodig. Het bleek ons dat de voorkeur van de arbeiders voor een bepaald type dopje gelijkelijk over de drie gebruikte soorten was verdeeld. Tegen het type Audium-Sonex waren de minste bezwaren, vooropgesteld dat deze ontdaan waren van scherpe randen en „bramen" door onzorgvuldige afwerking.

Personen met een zeer smalle of abnormaal gevormde gehoorgang kan men alleen helpen met individueel aangemeten oorstukjes of met in elke vorm kneedbare wasproppen. Deze hebben het bezwaar soms moeilijk te verwijderen te zijn, wat bij de KIFA-beschermers is opgelost door er een zakje van zeer fijn weefsel om aan te brengen, dat de prop bijeen houdt. Bij de Hultgren-dopjes zal het tot op zekere hoogte mogelijk zijn de schuimplastic te versnijden tot een passende vorm is bereikt.

Hoofdstuk IX

BEROEPSHARDHORENDHEID EN SOCIALE WETGEVING

Nog steeds is stijging te verwachten van het aantal mensen, dat kans loopt om beroepsdoof te worden; in 1899 was de hoeveelheid personen hier te lande werkzaam in de industrie 650 000, in 1947 1 430 000. Natuurlijk werken dezen niet allen in schadelijk lawaai. Bij nadere bestudering van de beroepentelling voor 1947 van het Centraal Bureau voor de Statistiek blijkt het aantal arbeiders, dat werkzaamheden verricht, die veelal met lawaai gepaard gaan, ongeveer 200 000 te bedragen. Er waren bijvoorbeeld 1476 ketelmakers, 1579 klinkers, 6511 drukkers, 13232 constructiewerkers, 14898 wevers, 22237 ondergrondse mijnwerkers, om slechts enkele van de talloze lawaaiige beroepen te noemen. Men mag dan ook wel aannemen, dat tenminste 50 000 personen inderdaad aan sterk lawaai zijn blootgesteld. De ervaring van Sacher, Temkin, Larsen, Siirala e.a. leert, en ons eigen onderzoek heeft dit bevestigd, dat hiervan enkele procenten een gehoorschade hebben, die hen het verstaan van spraak zo goed als geheel onmogelijk maakt. Het totale aantal werkelijk lawaaidoven kan men dus op enige duizendtallen schatten. Het aantal beroepshardhorenden, personen met iets minder ernstig, maar toch nog zeer hinderlijk acustisch trauma, is volgens ons materiaal twee en een half maal zo groot als het aantal nagenoeg doven.

Tot nu toe is in Nederland de lawaaidoofheid niet erkend als beroepsaandoening, die voor compensatie in aanmerking komt. In vele andere landen is echter in de laatste twee decennia de wetgever aandacht hieraan gaan schenken. Voorlopig is alleen in Finland de werkgever verplicht preventieve maatregelen te nemen, indien het lawaainiveau boven een bepaalde waarde (90 foon) stijgt. De wettelijke maatregelen in andere landen beperken zich tot de verplichting van een finantiële schadeloosstelling aan de getroffene (Duitsland, Rusland, Tsjecho-Slowakije, Bulgarije, Denemarken, Zweden, Zwitserland, Frankrijk, verschillende staten van de U.S.A., enz.).

De omschrijving van wat men onder beroepsdoofheid wil verstaan is in de wetgevende bepalingen der verscheidene landen meestal niet duidelijk. Men beperkt zich tot het opnoemen van de soort werkzaamheden, waar lawaaischade bij op kan treden. Ook de mate van doofheid,

die voor compensatie in aanmerking komt, is slechts vaag omschreven als „doofheid of daaraan grenzende hardhorendheid".

Het Duitse Reichsversicherungsamt neemt doofheid aan, wanneer conversatiespraak door het beste oor verstaan wordt op hoogstens 25 cm van het oor. Nadrukkelijk wordt hiervoor geëist het verstaan van zinnen en niet van losse woorden. Het lawaai wordt als oorzaak aannemelijk geacht, wanneer de betrokkene gedurende een voldoende aantal – dit is ongeveer tien – jaren heeft gewerkt in een geluidniveau van ongeveer 100 foon of meer. Het bedrag der schadeloosstelling bij ziekte of ongeval door beroepsomstandigheden wordt als regel bepaald naar de door de aandoening ontstane derving van loon. In Amerika zijn echter ook uitkeringen gedaan, wanneer er geen loonderving was geweest, dus als een soort „smartegeld". Deze uitkering bestond uit een „schedule award", dit is een bedrag overeenkomende met een bepaald aantal weken loon. Het bedraagt voor totale doofheid door een ongeval maximaal 150 weken loon van hoogstens 32 dollar per week. Hiervan werd een gedeelte uitgekeerd, overeenkomende met het gehoorverlies-percentage, zoals dat bijvoorbeeld met tabel 11 berekend kan worden.

Van de invaliditeits-percentages, die enkele andere landen toekennen bij doofheid door ongevallen, geven de tabellen 22 en 23 een verkort overzicht.

TABEL 22

Als voorbeeld van de berekening van het invaliditeits-percentage bij doofheid door ongevallen wordt hier de tabel weergegeven, zoals deze is voorgesteld in Frankrijk bij decreet van 24 Mei 1939

Beste oor		Slechtste oor					
Luide spraak	Fluister spraak	Luide spraak Fluister spraak	4–5 m 50–80 cm	2–4 m 25–50 cm	1–2 m 5–25 cm	0,25–1 m 5 cm-nihil	5 cm-nihil nihil
normaal	normaal		0%	3%	8%	12%	15%
4–5 m	50–80 cm		5%	10%	15%	20%	25%
2–4 m	25–50 cm		10%	15%	25%	30%	35%
1–2 m	5–25 cm		15%	25%	35%	40%	45%
0,25–1 m	5 cm-nihil		20%	30%	40%	50%	60%
5 cm-nihil	nihil		25%	35%	45%	60%	70%

Tinnitus van een zodanig ernstige aard, dat het de slaap stoort of psychische verschijnselen geeft, kan aan dit invaliditeits-percentage 5–10% toevoegen.

Bij evenwichtstoornis kan de resterende validiteit verder verminderd worden met de volgende percentages. (Dit percentage wordt dus berekend over de resterende validiteit.)

1e graad; geen objectieve vestibulaire afwijkingen 5–10%
2e graad; geen spontane vestibulaire reacties, maar wel overgevoelig voor labyrinthaire prikkels 10–20%
3e graad; spontane vestibulaire afwijkingen en abnormale reacties op prikkeling 20–40%

Ook een etterende otitis kan reden zijn tot verhoging van het invaliditeits-percentage (ook hier over de dan nog resterende validiteit) met een maximum van 15%.

TABEL 23

Invaliditeitsschattingen bij gehoorbeschadiging door ongevallen

(Naar gegevens van de Soc. Intern. d' Audiologie en de Assoc. Internat. de la Securité Sociale)

	Eenzijdige doofheid			Dubbelzijdige doofheid		
	matig	ernstig	totaal	matig	ernstig	totaal
Argentinië	–	–	12%	–	–	42%
Australië	?	?	200–350 pnd.	?	?	600–1050 pnd.
België	8%	15%	20%	25%	60%	80%
Canada	?	?	3%	?	?	30%
Chili	?	?	20%	?	?	70%
Costarica	?	?	15%	?	?	50%
Denemarken	0	10%	15–20%	25%	30–40%	50–60%
Duitsland	0	10%	10–15%	10–20%	30–40%	33–60%
Engeland	0	–	20%	20–40%	60–80%	100%
Finland	0	0	10–15%	15%	25%	40%
Frankrijk	0–3%	8–12%	15%	5–25%	35–60%	70%
Griekenland	3–10%	15%	20%	5–25%	35–50%	60%
India	?	?	?	?	?	30%
Italië	4%	9%	11–20%	6–12%	18–35%	40–50%
Japan	0	17%	28%	0	45–55%	66%
Joegoslavië	0	10%	15%	0	>30%	>40%
Mexico	5–10%	–	20%	15–30%	20–40%	60%
Nederland	–	–	–	–	–	>20%
Nieuw-Zeeland	?	?	10%	?	?	50%
Noorwegen	–	–	10–15%	–	–	33–40%
Oostenrijk	0	10%	10%	10–20%	30–40%	50–80%
Portugal	3–15%	20%	20%	5–35%	40–50%	60%
Spanje	–	–	–	–	–	75%
Unie v. Z.-Afrika	?	?	7%	?	?	50%
U.S.A.	–	–	5–19%	–	–	20–100%
Zweden	0	10%	10%	0	20–25%	50%
Zwitserland	0	10%	12–15%	15–20%	30–40%	50%
Min. en max.	0–15%	0–20%	3–28%	0–40%	18–80%	20-100%

Een nauwkeurige en definitieve vaststelling van het percentage gehoorverlies tengevolge van schadelijk lawaai wordt bemoeilijkt door het herstel, dat na beëindigen van het lawaaiige werk op zal kunnen treden en door de mogelijkheid, dat er andere ooraandoeningen zijn die alleen of tezamen de oorzaak van doofheid zijn. Men heeft daarom in de staat New York geen schadeloosstelling meer toegekend, voordat de getroffene enkele maanden het lawaaiige werk had gestaakt. De invloed van andere ooraandoeningen, vooral van presbyacusis, is dikwijls niet afzonderlijk te bepalen. Fox heeft voorgesteld om het gehoorverlies tengevolge van het ouder worden voor personen tussen 50 en 60 jaar op 5%, voor ouderen op 10% te stellen.

In Nederland zijn nog geen voorstellen voor een wettelijke regeling gedaan. Wuite noemt in zijn dissertatie van 1947 onder zijn desiderata voor aanvullingen van de lijst van beroepsziekten wel de inmiddels opgenomen tuberculose, maar niet de lawaaidoofheid.

Ingevolge de Ongevallenwet 1921 zijn werknemers verzekerd tegen de geldelijke gevolgen van ongevallen en letsels in betrekkelijk korte tijd ontstaan en van een aantal met name genoemde beroepsziekten, alleen voorzover verband met de dienstbetrekking aanwezig is. Als schadeloosstelling wordt verstrekt:

1. Genees- en heelkundige behandeling, inclusief genees- en verbandmiddelen, alsmede bepaalde speciaal genoemde kunstmiddelen, nodig voor herstel, behoud of bevordering van de geschiktheid tot werken, of bij volledige invaliditeit tot verbetering van de levensomstandigheden.

2. Een tijdelijke uitkering of voorlopige of blijvende rente bij loonderving door arbeidsongeschiktheid.

3. Vergoeding van begrafeniskosten en renten aan de nagelaten betrekkingen bij overlijden.

4. Opleiding of herscholing, wanneer de arbeidsgeschiktheid daardoor verhoogd kan worden.

Als regel zal vergoeding gegeven worden, wanneer een door de Rijksverzekeringsbank verstrekte prothese beschadigd is. Ook kan in bepaalde gevallen uitkering worden gegeven, indien door een bedrijfsongeval schade ontstaat aan een niet door de Bank verstrekte prothese, die geacht wordt een deel van het lichaam te zijn, zoals een kunstgebit.

De gewone lawaaidoofheid kan slechts bij uitzondering beschouwd worden als ongevalsletsel (gevolg van plotseling inwerkend, onvoorzien geweld, dus bijvoorbeeld bij een knal of explosie) of als letsel in betrekkelijk korte tijd ontstaan. Als betrekkelijk korte tijd kan hier gelden een termijn van enkele dagen tot ten hoogste enkele (drie) weken. Er zijn bijvoorbeeld gevallen van doofheid bekend, opgetreden na enkele dagen arbeid met een pneumatische hamer in een tank. Zolang de hardhorendheid toeneemt, dus bij voortdurende expositie aan lawaai, moet men deze als ziekte beschouwen. Wordt de arbeid gestaakt dan zal, na de eerste twee tot zes maanden, waarin een gedeeltelijk herstel mogelijk is, een stationaire toestand intreden.

Van ziekte is dan zeker geen sprake meer en op eventuele uitkering door de organen der ziektewet heeft men geen recht. Er bestaat hoogstens invaliditeit als gevolg van ziekte. Volgens de Invaliditeitswet wordt iemand echter pas geacht invalide te zijn, als hij niet in staat is een derde van zijn gewone loon te verdienen met arbeid, die hem naar billijkheid kan worden opgedragen. Zo deze situatie al zou kunnen optreden, zuiver als gevolg van beroepshardhorendheid, dan is dat toch een grote zeldzaamheid.

De werkgever kan echter civielrechtelijk aansprakelijk gesteld worden

voor schaden aan arbeiders in de uitoefening van hun dienstbetrekking overkomen, volgens art. 1638x B.W., waarvan het eerste en tweede lid luiden:

„De werkgever is verplicht de lokalen, werktuigen en gereedschappen, „waarin of waarmede hij den arbeid doet verrichten, op zoodanige wijze „in te richten en te onderhouden, alsmede omtrent het verrichten van den „arbeid zoodanige regelingen te treffen en aanwijzingen te verstrekken, „dat de arbeider tegen gevaar voor lijf, eerbaarheid en goed zoover be„schermd is, als redelijkerwijze in verband met den aard van den arbeid „gevorderd kan worden.

„Zijn die verplichtingen niet nagekomen, dan is de werkgever ge„houden tot vergoeding der schade aan den arbeider dientengevolge in „de uitoefening zijner dienstbetrekking overkomen, tenzij door hem „het bewijs wordt geleverd, dat de niet-nakoming aan overmacht, of die „schade in belangrijke mate mede aan grove schuld van den arbeider is „te wijten, alles behoudens de bepalingen van Hoofdstuk XII der „Ongevallenwet 1901."

Art. 93 O.W. 1921 ontheft namelijk de werkgever van diens aansprakelijkheid ten aanzien van de gevallen, waarin door de Ongevallenwet en de Land- en Tuinbouwongevallenwet is voorzien, te weten de in verband met de arbeid opgetreden ongevallen en daarmee gelijkgestelde aandoeningen, zoals beroepsziekten.

Hoewel het bij onaangenaam werk mogelijk is een hindertoeslag op het loon te geven, ontheft dit de werkgever niet van zijn plicht preventieve maatregelen tegen schadelijke invloeden te nemen, noch van zijn aansprakelijkheid, wanneer er schade is veroorzaakt.

Indien de lawaaidoofheid als beroepsziekte zou worden erkend en omschreven bij de thans in art. 87a en b O.W. 1921 genoemde aandoeningen, zou op de voor deze aandoeningen toegekende rechten aanspraak kunnen worden gemaakt, namelijk:

Bij „gehele of gedeeltelijke ongeschiktheid van een werknemer tot „arbeid, die voor zijn krachten en bekwaamheid is berekend en die met „het oog op zijn opleiding en vroeger beroep hem in billijkheid kan „worden opgedragen ter plaatse, waar hij arbeid verricht of het laatst „verricht heeft, of op een naburige, soortgelijke plaats" een „tijdelijke uitkering" gedurende zes weken van 80% van zijn in de laatste werkweek verdiende dagloon, daarna een „rente", gebaseerd op het gemiddelde dagloon, dat de betrokkene of een gelijksoortige werkman in het aan de werkstaking voorafgaande jaar heeft verdiend. Deze rente bedraagt bij volledige arbeidsongeschiktheid 70% van genoemd dagloon, bij gedeeltelijke ongeschiktheid een evenredig deel van deze 70%; blijvende rente wordt toegekend, als te verwachten is, dat in de toestand van betrokkene binnen een jaar geen wijziging zal optreden.

Nogmaals wordt er op gewezen, dat de betrokkene, indien daardoor zijn

arbeidsgeschiktheid verhoogd kan worden, op zijn verzoek een opleiding kan krijgen op kosten van de Rijksverzekeringsbank, terwijl sommige prothesen als deel van het lichaam worden aangemerkt en bij beschadigingen schadeloosstelling kan worden aangevraagd.

Steeds wordt, zowel bij Ongevallenwet als Ziektewet alleen uitgekeerd bij beperkingen van de geschiktheid tot arbeiden, hierbij buiten beschouwing latende de gevallen van geneeskundige behandeling krachtens de Ongevallenwet, ook indien de gevolgen van het ongeval geen ongeschiktheid veroorzaken.

De lawaaidoofheid neemt als beroepsaandoening een zeer bijzondere plaats in, daar, ondanks de voortdurende verergering door de lawaaiige arbeid, slechts zelden arbeidsongeschiktheid optreedt. De benadeling in de sfeer van de persoonlijke omgang met anderen kan dan reeds zeer ernstig geworden zijn, terwijl een belangrijk waarschuwingsorgaan voor gevaren uit de omgeving gedeeltelijk is uitgevallen. Verplichte preventie van de lawaaidoofheid zal dan ook aanbeveling verdienen, zodra de voorwaarden voor het ontstaan en de mogelijkheden tot bestrijding voldoende bestudeerd zijn en gefundeerde voorschriften gegeven kunnen worden.

Sommigen stellen zich op het standpunt, dat de invaliditeit van de lawaaidove moet worden bepaald zonder dat hij een hoorapparaat draagt. Naar onze mening moet men het hoorapparaat op dezelfde wijze beschouwen als de bril, de beenprothese en andere, zodat, indien een dergelijk hulpmiddel niet is gecontraïndiceerd, de validiteit mag worden gemeten onder gebruikmaking van de maximale hulp, die van een betrouwbaar hoorapparaat verkregen kan worden. De kosten van aanschaf en onderhoud van dit apparaat zouden vanzelfsprekend ook onder de verzekering moeten vallen. Helaas is juist bij lawaaidoven verbetering van het gehoor met een hoortoestel zeer moeilijk te verkrijgen. Men moet dus de hardhorende in staat stellen zijn hoorapparaat onder deskundige leiding te leren gebruiken door hoor-training. Liplezen dient eveneens aangeleerd te worden.

SAMENVATTING

Beschreven wordt een eerste onderzoek naar beroepshardhorendheid in de Nederlandse industrie met behulp van de continue audiometrie volgens Van Dishoeck.

Besproken worden:

1. De symptomatologie, vooral voor de vroege diagnose en de differentiaal-diagnose;

2. De principes van lawaaimeting en lawaaibestrijding en de criteria voor schadelijkheid van lawaai;

3. Het gehooronderzoek, speciaal met de continue audiometrie en de bezwaren, samenhangende met toevallig beschikbare onderzoekruimten door de invloed van storende geluiden op de gehoordrempelbepaling.

De bij ons onderzoek van normale personen gevonden nulcurve stemt overeen met de bevindingen van Dadson & King en Wheeler & Dickson, behalve voor het basgedeelte. Het is aannemelijk, dat dit verschil aan ongeoefendheid van de proefpersonen moet worden toegeschreven.

In 10 lawaaiige afdelingen werden geluidmetingen verricht (20 spectra), terwijl van 279 daar werkende personen audiogrammen werden opgenomen. Deze werden weergegeven als „afdelingsaudiogram", waaruit men voor 14 toonfrequenties de procentuele verdeling der gehoorverlieswaarden kan aflezen. Behalve voor een bedrijf, waar de gehoorschade zonder meer duidelijk was, werd per afdeling voor 7 van deze frequenties nagegaan, of het gemiddelde gehoorverlies statistisch significant afweek van het overeenkomende gemiddelde bij de normale proefgroep. Hierbij bleek voor één afdeling geen aanleiding te bestaan om acustisch trauma aan te nemen. Een methode werd ontwikkeld om het audiogram in 4 gehoorverlieswaarden te karakteriseren. Bij verder statistisch onderzoek met behulp van deze waarden bleken nog 3 afdelingen niet significant met de normale proefgroep te verschillen.

De audiogrammen voor en na een dag lawaaiig werk vertonen bij alle afdelingen voor alle frequenties een gemiddelde verschuiving van 5 tot 10 dB, tenzij reeds bij de aanvang van het werk een groot gehoorverlies aanwezig was. De grootste verschuivingen traden op bij arbeiders, die minder dan drie maanden in lawaai werkten. De andere arbeiders hadden dan al een bepaalde graad van trauma. Daardoor was er 's avonds een

grote overeenstemming tussen de audiogrammen van nieuwelingen en ouderen. Uit het tijdelijke verlies, dat in het „avondaudiogram" mede tot uitdrukking komt, zou men dus voorspellingen over het blijvende verlies kunnen maken. Afgezien van deze tijdelijke gehoordrempelveranderingen mag men bij werkonderbrekingen, die langer dan enkele dagen duren, als regel geen spectaculair herstel meer verwachten, echter kunnen kleine drempelverschillen in bepaalde gevallen de validiteit gunstig beïnvloeden.

Daar voor het acustische trauma een plaatselijk gehoorverlies (dip) met het maximum tussen 2000 en 6000 Hz kenmerkend is, terwijl voor het verstaan van spraak een goede gehoorscherpte voor tonen van minimaal 1,4 kHz en lager nodig is, werd voor elk oor afzonderlijk door samentelling van het gehoorverlies bij het dip-maximum en van dat bij 1,4 kHz de graad van het acustische trauma in één getal uitgedrukt.

Uitgaande van de procentuele verdeling van de traumagraad in de verschillende afdelingen werden deze naar de gehoorschade gerangschikt. Door deze volgorde te vergelijken met de gemeten lawaaispectra kon worden vastgesteld, dat de tot nu toe beschreven criteria voor het bepalen van de schadelijkheid van industrielawaai voor de daarbij gebruikelijke vlakke geluidspectra met een flauw maximum in de middenoctaven, niet veel in gebruikswaarde uiteenlopen.

Er was in ons onderzoek enige aanleiding om aan te nemen, dat de grootste gehoorschade optreedt in de eerste maanden van het lawaaiige werk en dat verdere afname van de gehoorscherpte grotendeels door intreden van presbyacusis wordt veroorzaakt. Het lijkt toelaatbaar voor groepen personen de gehoorverliezen te corrigeren voor presbyacusis door ze te verminderen met de overeenkomstige gehoorverliezen, die bij niet-lawaaidoven zijn gevonden. Dat bij het ouder worden de resistentie tegen het acustische trauma afneemt, kan uit onze gegevens niet vastgesteld worden. Slechts bij personen in de groep met 8-16 dienstjaren en langer is hiervoor een zwakke aanwijzing.

Ter bepaling van de individuele verschillen in resistentie tegen acustisch trauma zijn in de literatuur proeven voorgesteld, waarbij de drempelverschuiving tengevolge van blootstellen aan een zuivere toon of een ruis werd gemeten. Daarbij bleek, dat zuivere tonen bij gelijke intensiteit meer drempelverschuiving tengevolge hebben naarmate ze hoger zijn, met een maximum bij ongeveer 3000 Hz. Uit een door ons ingesteld onderzoek, waarbij proefpersonen aan via octaafbandfilters opgenomen fabriekslawaai werden blootgesteld, is gebleken, dat daarbij het effect op de gehoordrempel op dezelfde wijze afhangt van de toonhoogte van de geluidprikkel als bij zuivere tonen.

Wanneer in een ruis geen lage tonen voorkomen geeft zij grotere tijdelijke drempelverschuivingen dan indien dit wel in voldoende mate het geval is.

Zowel bij onze experimentele expositie van normaal-horenden aan

zuivere tonen als aan een witte ruis vertoonde de verdelingscurve naar de grootte van het dip-maximum een gelijkmatige overgang van sterke naar geringe resistentie. De resistenten en de niet-resistenten zijn niet twee duidelijk gescheiden groepen. Voor het resistentie-onderzoek werd een „isotraumatische" ruis voorgesteld.

Bij het gebruikelijke fabriekslawaai maakt het, wat de geluiddemping betreft, weinig verschil welk type gehoorbeschermer men kiest. De verstrekking daarvan dient onder deskundig toezicht te geschieden. De draagbaarheid hangt meer af van het aangepast zijn van de vorm van het dopje aan die van de gehoorgang dan van het materiaal. Men zal over een verscheidenheid aan vormen en maten van dopjes moeten kunnen beschikken om iedere arbeider de passende bescherming te geven. Een klein percentage zal alleen met modelleerbare wasproppen of met naar maat gemaakte dopjes te helpen zijn. Voor het verstaan van spraak bij het dragen van oordopjes maakt het verschil of het lawaai continu is of niet. In de rustige perioden van niet-continu lawaai is onderlinge communicatie door spraak gemakkelijker met dopjes, die een selectieve demping van de hoge tonen geven. Bij een aanhoudend hoog geluidniveau, zoals gebruikelijk is in de industrie, zijn niet-selectieve gehoorbeschermers echter gunstiger voor het verstaan. De filterwerking in de eerste soort dopjes blijft alleen behouden bij zeer zorgvuldige reiniging. Ze zijn als regel niet aanbevelenswaard voor industriële toepassing.

De tengevolge van lawaaiige arbeid opgetreden gehoorvermindering dient als beroepsziekte erkend en opgenomen te worden bij de in de art. 87 a en b der Ongevallenwet genoemde aandoeningen.

Werkgevers en werknemers dienen bewust gemaakt te worden van hun plicht preventieve maatregelen te treffen, waarbij wettelijke voorschriften onontbeerlijk zijn.

SUMMARY

Occupational deafness was studied in several factories in Dordrecht, Holland. Sound pressure levels were measured in ten departments (20 sound-spectra) and 279 audiograms taken from employees working there were analyzed. The method of continuous audiometry (Van Dishoeck) was used because of its speed, accuracy and superiority in finding localized hearing losses.

The mean monaural threshold for pure tones of a group of 20 subjects 15-25 years of age, with no history of hearing damage, showed good agreement with data from Dadson & King and Wheeler & Dickson, except for frequencies under 1000 cps, where a difference of 10 dB was found, which was probably due to inexperience of the observers.

Composite audiograms for each group of workers give the percentage-distribution of hearing losses in decibels for 14 frequencies.

In describing the individual audiogram, four hearing loss values were thought to be essential, viz. one for the low, the middle and the high tones and the maximum of the typical noise-dip. Using these values it was found that the mean hearing losses from four groups of employees did not differ significantly from those of the normal controls.

Audiograms taken before and after a day's work show threshold shifts of 5-10 dB at all frequencies unless hearing losses were marked already before the work. Largest threshold shifts occured with employees working less than three months in noisy surroundings; audiograms from the other employees then demonstrated acustic trauma to some extent already. Thus audiograms of newcomers resembled those of experienced workers, when taken after a day's exposure to factory noise. The extent of temporary hearing loss seems to predict the degree of permanent loss to be expected from continued exposure.

These temporary threshold shifts excepted, recovery as a rule is not large when the noisy work is given up. Even small improvements however can sometimes be very favorable to social adequacy.

The depth of the noise-dip and the hearing loss at 1,4 kc were coded and added together to form a single value to express the degree of acustic

trauma. Using this criterion the groups of audiograms were arranged according to their percentage-distribution of trauma and compared with the order of the noise spectra, when these were arranged according to the damage-risk-criteria based on the entire spectrum. For the usual, rather flat industrial noise-spectra no special preference for any criterion was found though the total level in sones had a slightly better correlation. Our data suggest that acustic trauma develops essentially in the first months of exposure to noise, increasing hearing losses during continued exposition being largely due to presbycusis. The presumption that older people are more sensitive to acustic trauma than younger could not be verified from our data, when corrected for presbycusis. A slight indication is present only for audiograms of persons working in noise for 8 years and longer.

Our experiments with short exposures to loud tones, octave-band noise and white noise indicate that narrow-band noise has the same fatiguing properties as have pure tones, as regards the relation between frequency of fatiguing sound and frequency of threshold shift. Wide-band noise causes more threshold shift when the amount of low tones is less, the total sound level being the same.

The values of maximal threshold shift after short exposures to pure tones or to white noise did not show bimodal distribution. No distinct separation of noise-susceptible and non-noise-susceptible individuals could be made.

Our survey of wearability of intrameatal hearing-protectors showed that no single type of commercially available ear plug fulfills all requirements for industrial application. Several types and sizes are necessary to fit all employees and even then persons remain, who can only wear individually fitted ear-pieces or easily molded wax impregnated cotton ear plugs. In continuous noise, as present in most industries, low-pass filter type eardefenders have no special advantages.

Noise deafness has to be legally recognized as an occupational disease, which should entitle the persons concerned to compensation. Legal measures will be needed to promote a preventive attitude in industry.

LITERATUUR

Almeida, H. Ribeiro de: Arch. of Otolaryng. 51, 215, 1950.
Alt, F.: ref. in Archiv. f. Ohrenhk., Otol. Rundschau 84, 188 en 294, 1911.
Altes, J. C.: Ned. T. v. Geneesk. 90, 1407, 1946.
Ancell, J. E.: J. Acoust. Soc. Amer. 25, 1163, 1953.
Audiology, Trans. ist Internat. Conf. on: Acta Oto-Laryng., Suppl. 76, 1948.
Audiology, Internat. Course in: Acta Oto-Laryng. 40, 1, 1951.
Audiology, Proc. ist Internat. Congr. of: Leiden, 1953.
Audiometrie, Verslag cursus: Groningen, 1951.
Audiometrie, Verslag cursus: Leiden, 1953.

Barème Indicatif d'Invalidité: Presse Médicale 47, 985, 1939.
Beasley, W. C.: J. Acoust. Soc. Amer. 12, 104 en 114, 1940.
Beasley, W. C.: tabel in F. W. Sunderman & F. Boerner: Normal values in clinical medicine, Philadelphia, 1949.
Békésy, G. v.: Acta Oto-Laryng. 35, 411, 1947.
Beranek, L. L.: Acoustic Measurements, New York, 1949.
Beranek, L. L., J. L. Marshall, A. L. Cudworth & A. P. G. Peterson: J. Acoust. Soc. Amer. 23, 261, 1951.
Berendes, J.: Archiv. f. Ohr. N. u. Khk. 147, 281, 1940.
Boemer, L. C.: Annals of O. R. & L. 54, 513, 1945.
Boer, H. A. de: Surdité Professionelle, I. L. O. Genève, z.d.
Bonjer, F. H.: Veiligheid 29, 121, 1953.
Bonvallet, G. L.: J. Acoust. Soc. Amer. 23, 435, 1951.
Bonvallet, G. L.: Amer. Indust. Hyg. Ass. Qu. 13, 136, 1952.
Bruïne-Altes, J. C. de & H. C. Huizing: Acta Oto-Laryng. 37, 385, 1949.
Bunch, C. C.: Clinical Audiometry, St Louis, 1943.

Campbell, P. A.: Annals of O. R. & L. 51, 293, 1942.
Campbell, P. A. & J. Hargreaves: Arch. of Otolaryng. 32, 417, 1940.
Carter, H. A.: Laryngoscope 52, 879, 1942.
Carter, H. A.: Arch. of Indust. Hyg. & Occup. Med. 5, 445, 1952.
Caussé, R.: Annales d'Otolaryng. 1935, 774.
Caussé, R. & P. Falconnet: Annales d'Otolaryng. 64, 436, 1947.
Chadwick, D. L.: Report Flying Pers. Research Comm. 736(a), 1950.
Chais, L.: Zentralbl. f. Ohrenheilk. 28, 109, 1928.
Chamberlain, D.: Arch. of Otolaryng. 35, 595, 1942.
Christensen, A.: Acta Oto-Laryng. 39, 95, 1951.
Ciocco, A.: Laryngoscope 42, 837, 1932.
Conference on Factory Noise: Amer. Indust. Hyg. Ass. Qu. 15, 29, 1954.
Cook, N.: Arch. of Otolaryng. 56, 367, 1952.
Corliss, E. L. R. & W. F. Snijder: J. Acoust. Soc. Amer. 22, 837, 1950.
Cox, J. R., R. H. Mansur & C. R. Williams: Arch. of Indust. Hyg. & Occup. Med. 8, 36, 1953.

Coul, P. G. op de: Ned. T. v. Geneesk. 94, 407, 1950.
Council on Physical Medicine & Rehabilitation, Report:
J. Amer. Med. Ass. 144, 465, 1950.
J. Amer. Med. Ass. 146, 255 en 817, 1951.
Currier, W. D.: Arch. of Otolaryng. 38, 49, 1943.

Dadson, R. S. & J. H. King: Journal of Laryng. & Otol. 66, 366, 1952.
Davis, H.: Laryngoscope 58, 761, 1948.
Davis, H., C. T. Morgan e.a.: Laryngoscope 56, 19, 1946.
Davis, H. e.v.a.: Hearing and Deafness, London, New York, 1947.
Davis, H., H. O. Parrack & D. H. Eldredge: Annals of O. R. & L. 58, 732, 1949.
Dickson, E. D. D.: Journal of Laryng. & Otol. 57, 8, 1942.
Dickson, E. D. D. & A. W. G. Ewing: Journal of Laryng. & Otol. 56, 225, 1941.
Dickson, E. D. D., A. W. G. Ewing & T. S. Littler: Journal of Laryng. & Otol. 54, 531, 1939.
Dickson, E. D. D. & N. P. Watson: Journal of Laryng. & Otol. 63, 276, 1949.
Dishoeck, H. A. E. van: Acta Oto-Laryng. 35, 317, 1947.
Dishoeck, H. A. E. van: in J. G. Sleeswijk: De Ouderdom, Amsterdam, 1948.
Dishoeck, H. A. E. van: Acta Oto-Laryng., Suppl. 78, 183, 1948.
Dishoeck, H. A. E. van: Acta Oto-Laryng. 36, 429, 1949.
Dishoeck, H. A. E. van: T. v. Soc. Geneesk. 31, 35, 1953.
Dishoeck, H. A. E. van: Acta Oto-Laryng. 43, 167, 1953.
Dishoeck, H. A. E. van: Acta O. R. L. Belgica 8, 46, 1954.
Dishoeck, H. A. E. van: Ned. T. v. Geneesk. 98, 1342, 1954.
Dishoeck, H. A. E. van & J. van Gool: Ned. T. v. Geneesk. 91, 3060, 1947.
Dishoeck, H. A. E. van & J. van Gool: Ned. T. v. Geneesk. 93, 1317, 1949.
Dishoeck, H. A. E. van & G. de Wit: Ned. T. v. Geneesk. 87, 1041, 1943.

Egmond, A. A. J. van: Ned. T. v. Geneesk. 90, 308, 1946.
Eldredge, D. H. & H. O. Parrack: U.S.A.F. Med. J. 1, 449, 1950.
Escher, F.: Practica O. R. L. 8, 505, 1946.
Eschweiler, H.: Ztschr. f. H. N. u. Ohrenhk. 41, 193, 1936.

Fletcher, H.: Revs Mod. Physics 12, 47, 1940.
Fletcher, H.: J. Acoust. Soc. Amer. 22, 1, 1950.
Fletcher, H.: J. Acoust. Soc. Amer. 23, 637, 1951 en 24, 129, 1952.
Fletcher, H. & W. A. Munson: J. Acoust. Soc. Amer. 5, 82, 1933.
Fletcher, H. & W. A. Munson: J. Acoust. Soc. Amer. 9, 1, 1937.
Flodgren, E.: Acta Oto-Laryng. 32, 385, 1944.
Fowler, E. P.: Arch. of Otolaryng. 40, 475, 1944.
Fowler, E. P.: Laryngoscope 57, 103, 1947.
Fowler, E. P.: J. Amer. Med. Ass. 150, 678, 1952.
Fowler Jr, E. P.: Acta Oto-Laryng., Suppl. 78, 173, 1949.
Fowler Jr, E. P. & H. C. Huizing: Acta Oto-Laryng. 39, 367, 1951.
Fox, M. S.: Amer. J. Med. Sc. 223, 447, 1952.
Fox, M. S.: Laryngoscope 64, 79, 1954.
Frey, H.: Journal of Laryng. & Otol. 56, 81 en 106, 1941.

Gallagher, J. B. & J. E. Goodwin: Arch. of Indust. Hyg. & Occup. Med. 6, 332, 1952.
Garissou, D.: Revue de Laryngologie Otol. Rhin. 71, 425, 1950.
Glibert, D. J.: cit. Bunch.
Gloric, A.: U.S.A.F. Med. J. 1, 590, 1950.
Gool, J. van: Dissertatie Leiden, 1952.
Greisen, L.: Acta Oto-Laryng. 39, 132, 1951.
Groen, J. J.: in H. C. Burger & G. C. E. Burger: Medische Physica, Amsterdam, 1949.
Grove, W. E.: Laryngoscope 57, 114, 1947.

Guide for physicians concerned with hearing conservation in industrial noise: Amer. Acad. Ophth. Otolaryng., 1952.
Guild, S. R.: Laryngoscope 42, 821, 1932.
Guild, S. R.: J. Amer. Med. Ass. 142, 466, 1950.

Halpike, C. S. & J. D. Hood: J. Acoust. Soc. Amer. 23, 270, 1951.
Hardy, H. C.: J. Acoust. Soc. Amer. 24, 756, 1952.
Hardy, H. C.: Arch. of Indust. Hyg. & Occup. Med. 8, 250, 1953.
Harris, C. M.: lezingen Delft, 1951-'52.
Harris, J. D.: Laryngoscope 64, 89, 1954.
Hearing Aids & Audiometers: Medical Research Council, Special Report Series No 261, 1947.
Hendricks, J. E.: Annals of O. R. & L. 55, 68, 1946.
Hiddema, A.: Dissertatie Groningen, 1928.
Hirsh, I. J. & W. D. Ward: J. Acoust. Soc. Amer. 24, 131, 1952.
Hoessli, H.: Zentralbl. f. Ohrenheilk. 64, 101, 1912.
Högger, D.: Ztschr. f. Unfallmed. u. Berufskr. 41, 258, 1948.
Holmgren, L.: Acta Oto-Laryng. 32, 502, 1944.
Hood, J. D.: Acta Oto-Laryng., Suppl. 92, 1950.
Hoople, G. D., W. C. Wolfe & S. C. Bregande: Laryngoscope 57, 125, 1947.
Hughson, W. & E. G. Witting: Acta Oto-Laryng. 21, 457, 1934.
Huizing, H. C.: Acta Oto-Laryng. 30, 487, 1942.
Huizing, H. C.: Ned. T. v. Geneesk. 92, 4017, 1948.
Huizing, H. C.: Acta Oto-Laryng., Suppl. 78, 169, 1949.
Huizing, H. C.: Ned. T. v. Geneesk. 98, 155, 1954.

Industrial Noise: symposion Factory Management and Maintenance 111, 113, 1953.
Internat. Labour Conf.: Report 8 (1), Genève, 1951.
Internat. Labour Office: Vocational Rehabilitation of Persons with impaired Hearing, 1951.
Invalidité audiologique, Tableau des taux d': Soc. Internat. d'Audiologie, Paris, 1953.
Invalidité dans certains pays, Tableau des degrés d': Assoc. Internat. Securité Soc., Düsseldorf, 1953.

Jaehne, A.: Zentralbl. f. Ohrenheilk. 62, 111, 1910.
Jepsen, O.: Acta Oto-Laryng. 39, 406, 1951.
Johansen, H.: Acta Oto-Laryng. 32, 194, 1944.
Johnston, C. M.: Brit. J. Indust. Med. 10, 41, 1953.

Kantzler, L.: Audiométrie clinique, Paris, 1952.
Karplus, H. B. & G. L. Bonvallet: Amer. Indust. Hyg. Ass. Qu. 14, 235, 1953.
Käser, R.: ref. Practica O. R. L. 11, 343, 1949.
Kelley, N. H.: Arch. of Otolaryng. 29, 506, 1939.
Kobrak, H. G., J. R. Lindsay & H. B. Perlman: Laryngoscope 51, 798, 1941.
Kostelijk, P. J.: Dissertatie Leiden, 1950.
Kostelijk, P. J.: Ned. Milit. Geneesk. T. 4, 95, 1951.
Krejci, F. von & H. Bornschein: Acta Oto-Laryng. 39, 68, 1951.
Kristensen, H. K.: Acta Oto-Laryng. 34, 82, 1946.
Kristensen, H. K.: Acta Oto-Laryng. 34, 157, 1946.
Kryter, K. D.: J. Speech & Hearing Disorders, Suppl. 1, 1950.

Langenbeck, B.: Ztschr. f. H. N. u. Ohrenhk. 30, 1, 1931.
Langenbeck, B.: Ztschr. f. H. N. u. Ohrenhk. 30, 609, 1931.
Langenbeck, B.: Ztschr. f. H. N. u. Ohrenhk. 40, 201, 1937.
Langenbeck, B.: Leitfaden d. praktischen Audiometrie, Stuttgart, 1952.
Lansberg, M. P.: Ned. T. v. Geneesk. 94, 264, 1950.
Lansberg, M. P.: Ned. T. v. Geneesk. 94, 697, 1950.
Lansberg, M. P.: Ned. T. v. Geneesk. 98, 1354, 1954.

Larsen, B.: Investigations of Professional Deafness, Kopenhagen, 1939.
Larsen, B.: Acta Oto-Laryng. 34, 71, 1946.
Larsen, B.: Acta Oto-Laryng. 41, 139, 1952.
Larsen, B.: Journal of Laryng. & Otol. 67, 536, 1953.
Lehmann, R.: Annales d'Otolaryng. 70, 735, 1953.
Leisti, T. J.: Acta Oto-Laryng. 37, 555, 1949.
Lidén, G.: Acta Oto-Laryng., Suppl. 114, 1954.
Lumio, J. S.: Acta Oto-Laryng. 37, 539, 1949.
Lüscher, E.: Ztschr. f. H. N. u. Ohrenhk. 23, 105, 1929.
Lüscher, E.: Lehrbuch der Ohrenheilkunde, Wien, 1952.
Lüscher, E. & J. Zwislocki: Acta Oto-Laryng. 35, 428, 1947.
Lüscher, E. & J. Zwislocki: Archiv. f. Ohr. N. u. Khk. 155, 323, 1948.
Lüscher, E. &. J. Zwislocki: Ztschr. f. Unfallmed. u. Berufskr. 42, 96, 1949.

McCord, C. P. & J. D. Goodell: J. Amer. Med. Ass. 123, 476, 1943.
McCord, C. P., E. E. Teal & W. N. Witheridge: J. Amer. Med. Ass. 110, 1553, 1938.
McCoy, D. A.: J. Indust. Hyg. & Tox. 26, 120, 1944.
McGrath, R. M.: Arch. of Indust. Hyg. & Occup. Med. 5, 436, 1952.
McKelvie, W. B.: Journal of Laryng. & Otol. 48, 607, 1933.
McLaren, W. R. & A. L. Chaney: Indust. Med. 16, 109, 1947.
Mackle, W.: Arch. of Otolaryng. 42, 164, 1945.
Malone, P. W.: Arch. of Otolaryng. 40, 468, 1944.
Mancioli, G. & G. Pestalozza: ref. in Bull. of Hyg. 28, 334 en 946, 1953.
Maré, G. de: Acta Oto-Laryng. 40, 104, 1951.
Meister, F. J.: Akustische Messtechnik der Gehörprüfung, Karlsruhe, 1954.
Meurman, O. H.: Proc. 1st Internat. Congr. of Audiol., Leiden, 1953.
Mintz, F. & F. G. Tyzzer: J. Acoust. Soc. Amer. 24, 80, 1952.
Mol, H.: Acta Oto-Laryng. 39, 409, 1951.
Mol, H.: T. Ned. Radiogenootschap 16, 277, 1951.
Morgan, C. T., W. R. Garner & R. Galambos: 23, 658, 1951.
Mygind, S. H.: Acta Oto-Laryng. 41, 235, 1952.

Nager, F. R.: Acta Oto-Laryng. 35, 467, 1947.
Nákó, A. & G. Hajts: Practica O.R.L. 13, 195, 1951.
Nasiell, V.: Acta Oto-Laryng. 32, 509, 1944.
Noise Abatement Symposia, Annual Nat.: 1950, '51, '52.
Noise in Industry, Conference on Problems of: Arch. of Indust. Hyg. & Occup. Med. 5, 97, 1952.
Noise Primer, The: General Radio Comp., Cambridge, 1948.
Noise: Proc. Inservice Training Course Univ. Michigan, Ann Arbor, 1952.

Orembowski, N. S.: ref. Zentralbl. f. Ohrenheilk. 28, 135, 1928.

Palva, T.: Acta Oto-Laryng., Suppl. 101, 1952.
Pancheri, G. & G. Mancioli: ref. Bull. of Hyg. 28, 634, 1953.
Paris, J. & R. Vidal: Arch. Maladies Profess. 13, 48, 1952.
Parrack, H. O.: Arch. of Indust. Hyg. & Occup. Med. 5, 415, 1952.
Perlman, H. B.: Arch. of Otolaryng. 34, 429, 1941.
Perlman, H. B. & T. J. Case: Annals of O. R. & L. 48, 663, 1939.
Perwitschky, R. & Lanig: Ztschr. f. H. N. u. Ohrenhk. 41, 178, 1936.
Peterson, A. P. G. & L. L. Beranek: Handbook of Noise Measurement, Cambridge, 1953.
Peyser, A.: Zentralbl. f. Ohrenheilk. 28, 205, 1928.
Peyser, A.: Acta Oto-Laryng. 35, 291, 1947.
Pollack, I.: J. Acoust. Soc. Amer. 23, 646, 1951.
Pothoven, W.: Ned. Milit. Geneesk. T. 1, 270, 1948.
Pothoven, W.: Ned. Milit. Geneesk. T. 2, 45 en 244, 1949.
Pothoven, W.: Ned. T. v. Geneesk. 93, 2403, 1949.
Proulx, L. J.: Arch. of Indust. Hyg. & Occup. Med. 9, 496, 1954.

Ramsdell, D. A.: in H. Davis e.a.: Hearing and Deafness, London, New York, 1947.
Rapport Inst. f. Fernmelde Technik a. d. E. T. H., Zürich, 1951.
Rapporten Commissie Gehoorbescherming N.I.v.P.G. 1953, 1954.
Reece, F. C. & L. N. Miller: J. Acoust. Soc. Amer. 23, 145, 1951.
Reger, S. N.: in O. Glasser: Medical Physics, Chicago, 1944.
Reger, S. N.: Laryngoscope 60, 161, 1950.
Reyntjes, J. A.: Dissertatie Groningen, 1951.
Rosenblith, W. A.: J. Acoust. Soc. Amer. 13, 220, 1942.
Rosenblith, W. A.: J. Acoust. Soc. Amer. 22, 792, 1950.
Rosenblith, W. A. e.v.a.: Report Z24 - X-2 Amer. Standards Ass., 1954.
Ruedi, L. & W. Furrer: Practica O.R.L. 8, 177, 1946.
Ruedi, L. & W. Furrer: Arch. of Oto-Laryng. 54, 534, 1951.
Russi, U.: Practica O.R.L. 8, 71, 1946.

Sabine, H. J. & R. A. Wilson: J. Acoust. Soc. Amer. 15, 27, 1943.
Sabine, P. A.: ref. in J. Indust. Hyg. & Tox. 26, 1944.
Sacher, A.: Mschr. Ohrenheilk. 61, 337, 1927.
Sacher, A.: ref. Zentralbl. f. Ohrenheilk. 28, 136, 1928.
Sataloff, J.: Annals of O. R. & L. 61, 107, 1952.
Schafer, T. H., R. S. Gales, C. A. Shewmaker & P. O. Thompson: J. Acoust. Soc. Amer. 22, 490, 1950.
Schowalter, E. J.: Arch. of Indust. Hyg. & Occup. Med. 5, 430, 1952.
Schuknecht, H. F.: Annals of O.R. & L.: 59, 331, 1950.
Schuknecht, H. F., W. D. Neff & H. B. Perlman: Annals of O. R. & L. 60, 273, 1951.
Senseney, E. T.: Laryngoscope 57, 142, 1947.
Senturia, B. H.: Annals of O. R. L. 61, 331, 1952.
Siebenmann, F.: ref. Archiv. f. Ohrenhk., Otol. Rundschau 84, 273, 1911.
Siebenmann, F.: ref. Archiv. f. Ohrenhk., Otol. Rundschau 88, 164, 1912.
Siebenmann, F.: Passow & Schaefer, Beitrage etc. 9, 38, 1917.
Siirala, U.: Acta Oto-Laryng. 38, 318, 1950.
Siirala, U.: Acta Oto-Laryng. 41, 111, 1952.
Siirala, U. & E. Lahikainen: Acta Oto-Laryng., Suppl. 67, 106, 1948.
Simonton, K. M.: ref. J. Amer. Med. Ass. 143, 319, 1950.
Sivian, L. J. & S. D. White: J. Acoust. Soc. Amer. 4, 288, 1932.
Steenbergen, M. H.: Veiligheid 29, 165, 1953 en 30, 11, 1954.
Steinberg, J. C., H. C. Montgomery & M. B. Gardner: J. Acoust. Soc. Amer. 12, 291, 1940.
Steinicke, G.: Fachtagung Verein Deut. Ingen. 1953.
Sterner, J. H.: Indust. Med. & Surg. 20, 99, 1951.
Sterner, J. H. & S. R. Guild: Arch. of Indust. Hyg. & Occup. Med. 3, 232, 1951.
Stevens, S. S. & H. Davis: Hearing, New York, 1938.
Sullivan, J. A.: Annals of O. R. & L. 55, 839, 1946.
Symposion Neural Mechanism of Hearing: Laryngoscope 47, 289 e.v., 1937.

Taylor, H. M.: Laryngoscope 57, 137, 1947.
Temkin, J.: Mschr. f. Ohrenhk. u. L. R. 67, 257 e.v., 1933.
Theilgaard, E.: Acta Oto-Laryng. 37, 347, 1949.
Theilgaard, E.: Acta Oto-Laryng. 39, 525, 1951.
Trambitzky, G.: Zentralbl. f. Ohrenheilk. 28, 109, 1928.
Trendelenburg, F.: Einführung in die Akustik, Berlin, 1939.
Tumarkin, A.: Acta Oto-Laryng. 35, 446, 1947.
Tumarkin, A.: Journal of Laryng. & Otol. 64, 178, 1950.
Tumarkin, A.: Journal of Laryng. & Otol. 68, 411, 1954.
Tyzzer, F. G.: Amer. Indust. Hyg. Ass. Qu. 14, 264, 1953.

Ullmann, E. V.: Arch. of Otolaryng. 40, 374, 1944.

Vallancien, B., P. Chavasse& R. Lehman: Annales d'Otolaryng. 70, 111, 1953.
Veckmans, J. L.: Acta O.R.L. Belgica 5, 485, 1951.

Watson, L. A. & T. Tolan: Hearing tests & Hearing instruments, Baltimore, 1949.
Watson, N. A. & V. D. Knudsen: J. Acoust. Soc. Amer. 15, 153, 1944.
Webster, J. C., H. W. Himes & M. Lichtenstein: J. Acoust. Soc. Amer. 22, 473, 1950.
Webster, J. C., M. Lichtenstein & R. S. Gales: J. Acoust. Soc. Amer. 22, 483, 1950.
Weersma, P.: Dissertatie Groningen, 1938.
Weille, F. L.: Arch. of Otolaryng. 55, 456, 1952.
Wheeler, D. E.: Arch. of Otolaryng. 51, 344, 1950.
Wheeler, D. E.: Arch. of Otolaryng. 54, 267, 1951.
Wheeler, D. E.: Amer. Indust. Hyg. Ass. Qu. 14, 54, 1953.
Wheeler, L. J. & E. D. D. Dickson: Journal of Laryng. & Otol. 66, 379, 1952.
Wilson, W. H.: Arch. of Otolaryng. 37, 757, 1943.
Wilson, W. H.: Arch. of Otolaryng. 40, 52, 1944.
Wit, G. de: Dissertatie Amsterdam, 1941.
Wit, G. de: Acta Oto-Laryng. 30, 373, 1942.
Witting, E. G. & E. W. Hughson: Laryngoscope 50, 259, 1940.
Wittmaack, K.v.: ref. Archiv. f. Ohrenhk., Otol. Rundschau 88, 248, 1912.
Wittmaack, K.v.: Passow & Schaeffer, Beitrage etc. 9, 1, 1917.
Wuite, J. G.: Dissertatie Utrecht, 1947.

Zeller, W.: Technische Lärmabwehr, Stuttgart, 1950.
Zwislocki, J.: J. Acoust. Soc. Amer. 23, 36, 1951.
Zwislocki, J.: Indust. Organisation 2, 1951.
Zwislocki, J.: Acta Oto-Laryng. 39, 338, 1951.

VOL COEDE
COURAGIE